This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

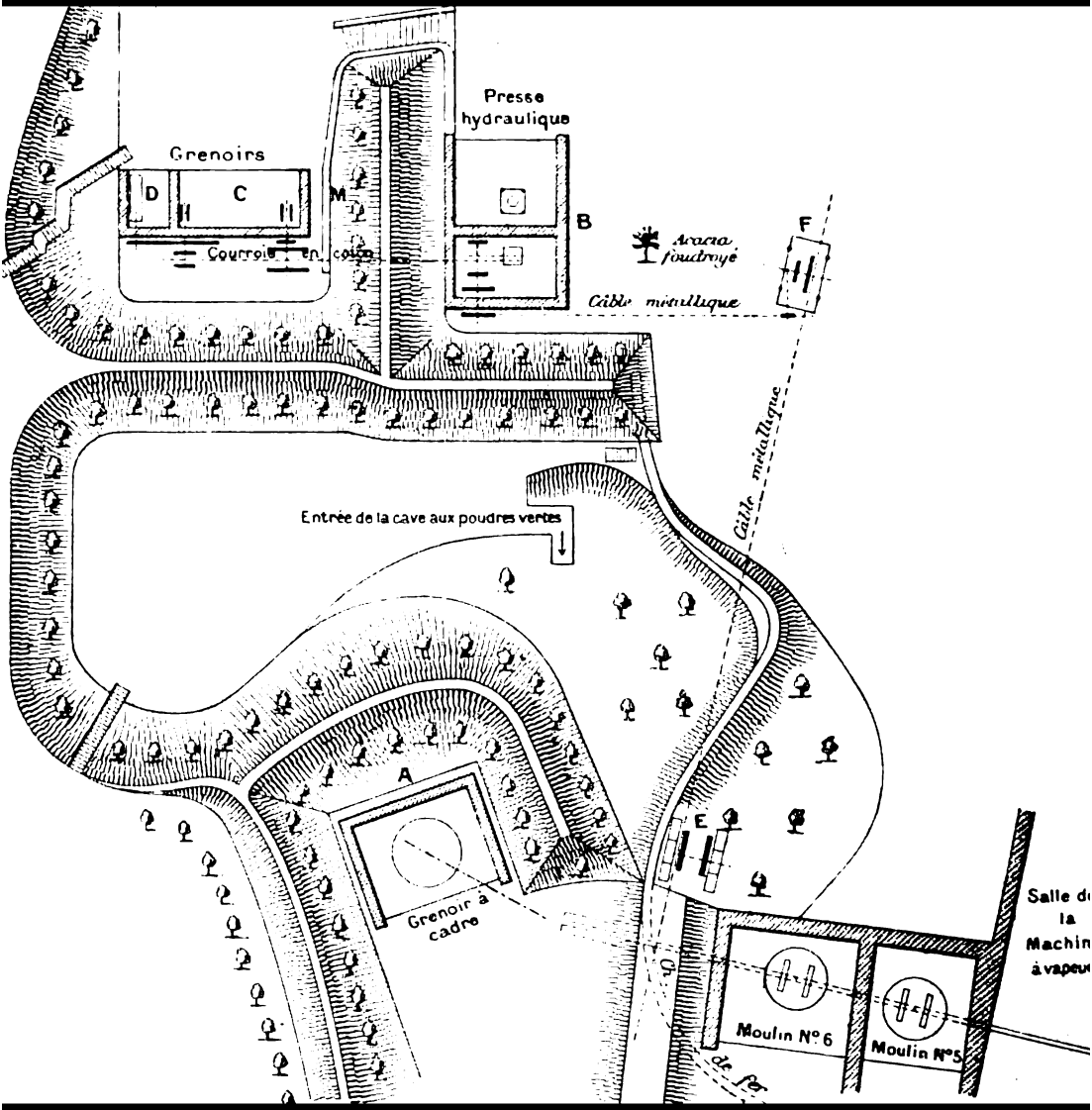
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

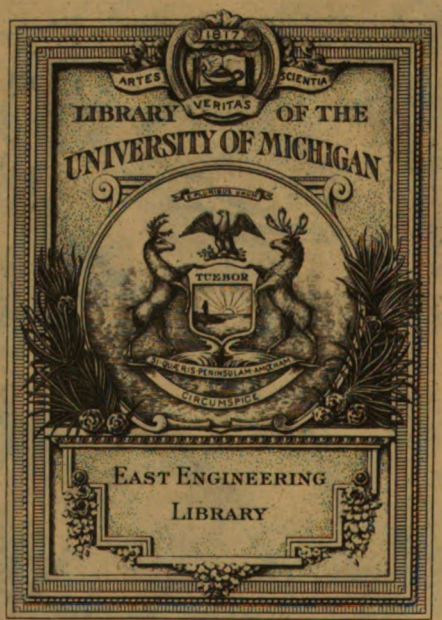
Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`



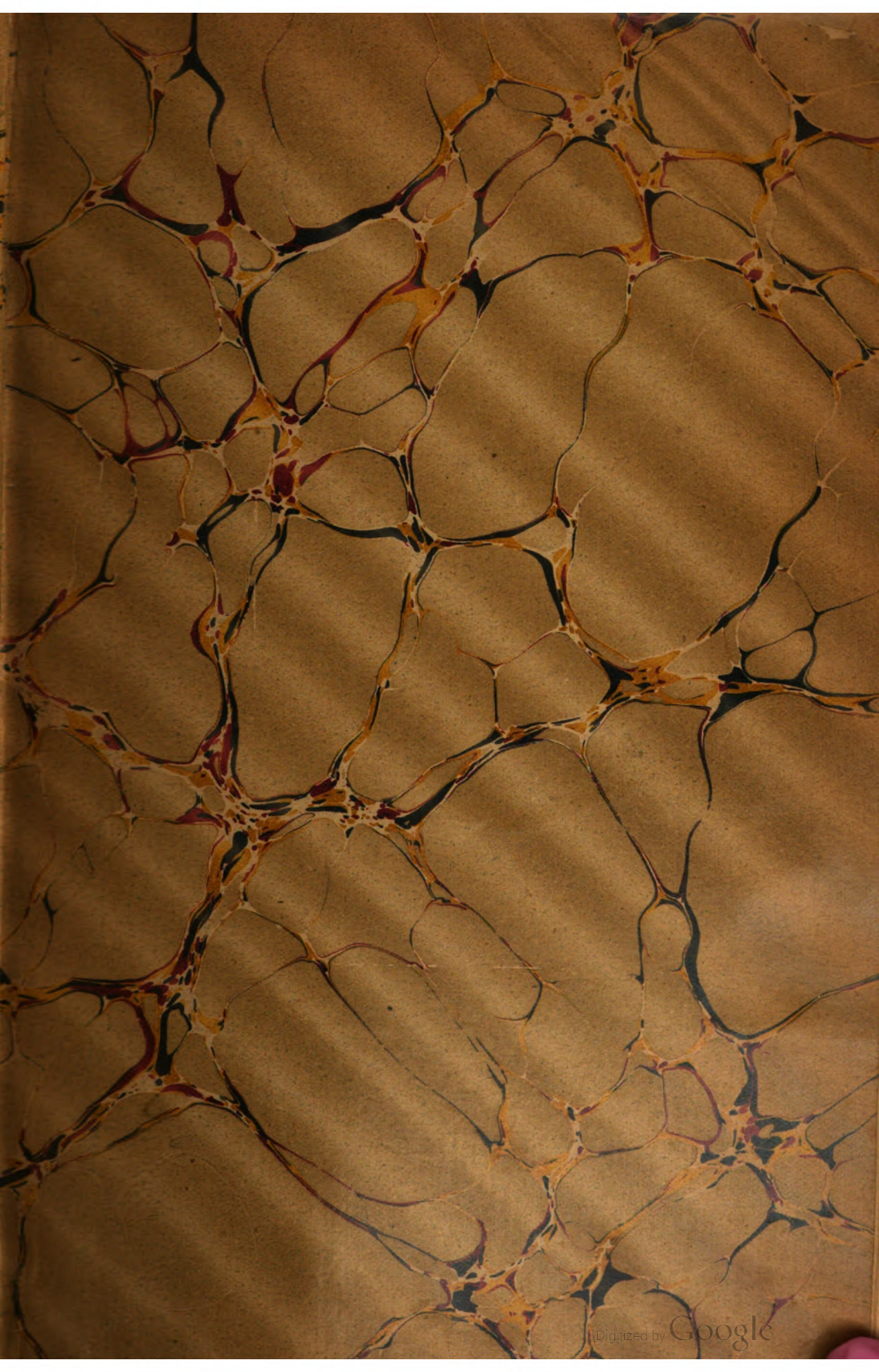
Mémorial des poudres

Digitized by Google

G. E. STECHERT & Co.
(ALFRED HAFNER)
NEW YORK



Digitized by Google


Digitized by Google

Digitized by Google

East Engin.
Library
TP
270
.A2
M53

Digitized by Google

Digitized by Google

MÉMORIAL

DES

POUDRES ET SALPÊTRES

Digitized by Google

27004 PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,

QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55.

Digitized by Google

MÉMORIAL

DES

POUDRES ET SALPÊTRES

PUBLIÉ PAR LES SOINS

DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES,

AVEC L'AUTORISATION

DU MINISTRE DE LA GUERRE.

TOME DIXIÈME.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Quai des Grands-Augustins, 55.

—

1899-1900

(Tous droits réservés.)

Digitized by Google

Digitized by Google

PREMIÈRE PARTIE.

DOCUMENTS TECHNIQUES.

Digitized by Google

Digitized by Google

East Eng. Lit.
Dept. Dig. Res.
8-4-37

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

RAPPORT N° 127. — 8 DÉCEMBRE 1898.

ÉTUDE

DES

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DES DYNAMITIÈRES SOUTERRAINES.

RAPPORT

SUR LES

EXPÉRIENCES DE BLANZY

DU 6 JUILLET 1898.

Digitized by Google

PETITS DÉPOTS SOUTERRAINS DE DYNAMITE.

Deux séries d'expériences, exécutées antérieurement par la Compagnie des mines de Blanzy, sous la direction de la Commission des substances explosives, ont permis de définir les conditions qu'il convient d'adopter dans l'établissement des grands dépôts de dynamite, tant à l'intérieur des mines qu'à la surface du sol (1).

Une troisième et dernière série d'expériences a été faite pour étudier les conditions d'établissement des petits dépôts souterrains de dynamite, dans lesquels on emmagasine la consommation journalière de la mine. L'importance de ces dépôts varie, en général, de 1 à 5 caisses, soit 20^{kg} à 100^{kg} de dynamite.

Les questions que ces expériences avaient pour but d'élucider étaient au nombre de deux :

1° Quelle est l'importance des dégâts que l'explosion d'une caisse isolée de dynamite peut occasionner dans les organes essentiels de l'aérage : portes et ventilateurs?

2° Est-il possible, par une disposition convenable des caisses de dynamite emmagasinées dans un dépôt, d'éviter que l'explosion d'une caisse entraîne celle des caisses voisines?

La réponse à ces questions devait fournir les éléments nécessaires pour définir l'emplacement dans la mine et l'importance que l'on peut donner aux petits magasins de dynamite sans compromettre la sécurité générale.

Accessoirement, une solution favorable de la seconde question pouvait donner un nouveau mode d'établissement des grands dépôts souterrains, n'entraînant pas l'emploi, très coûteux, du

(1) Voir *Mém. des poudr. et salp.*, t. VIII et IX.

Digitized by Google

tampon obturateur. Du moment où l'inflammation ne se transmettrait pas d'une caisse à l'autre, l'augmentation du nombre des caisses emmagasinées ensemble n'augmenterait pas généralement la gravité des effets produits en cas d'accident.

Le programme de la première expérience comportait l'étude des dégâts occasionnés par l'explosion d'une caisse de dynamite sur des portes et ventilateurs installés à différentes distances.

Pour ces expériences, on a utilisé une longue galerie mettant en communication la carrière de remblais Maugrand avec le puits Saint-Pierre (*fig.* 1 et 2). Par suite de l'avancement des travaux, cette galerie devait être mise hors de service pendant le courant de l'année 1898. On profita de cette circonstance pour la réalisation d'une expérience qui pouvait amener l'effondrement, sur une certaine longueur, de la galerie utilisée.

Un barrage fut installé à 150^{m} de l'entrée de la galerie; il était constitué par un mur de briques derrière lequel se trouvait un remblai de 10^{m} d'épaisseur. C'est au pied de ce mur que la caisse renfermant 20^{kg} de dynamite n° 1 fut placée. En avant, on installa une première porte à 10^{m} de la caisse, une seconde à 50^{m} et, enfin, une réduction de ventilateur à 140^{m}, c'est-à-dire tout près de l'orifice de la galerie. Cette galerie avait 4^{mq} de section; elle était boisée, mais ce boisage, étant en assez mauvais état de conservation, fut, sur une certaine longueur à partir de la caisse, consolidé par des chandelles soutenant les chapeaux vers leur milieu.

Les portes étaient ouvertes dans un mur en briques de $0^{m},30$ d'épaisseur solidement appuyé sur le terrain; la section libre représentait la moitié de la section totale de la galerie. Le battant de la porte était fait en planches de 10^{mm} d'épaisseur réunies par un cadre en bois et fixées sur deux longues ferrures portant les gonds. La première porte, qui était à 10^{m} de la caisse, s'ouvrait vers l'intérieur, et l'autre vers l'extérieur.

Le ventilateur, ou plus exactement le schéma d'un ventilateur, était constitué par six bras en bois sur lesquels étaient légèrement clouées, par quelques pointes, des planches de 10^{mm} d'épaisseur; il occupait environ les deux tiers de la section de la galerie; il

Digitized by Google

Fig. 1.

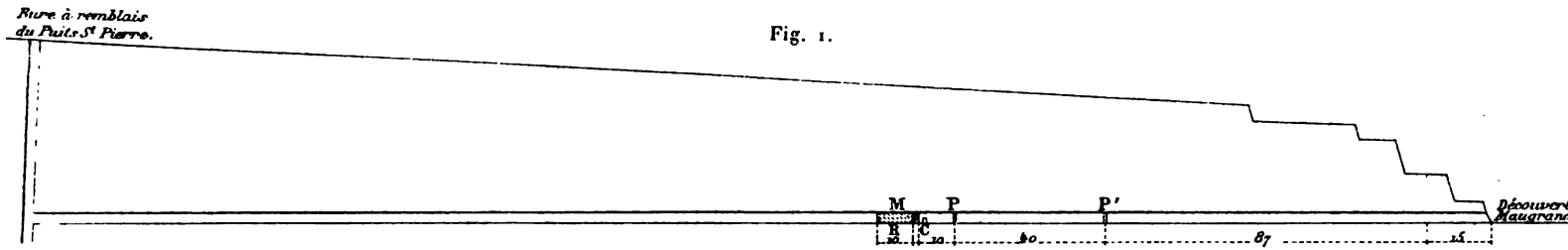


Fig. 2.

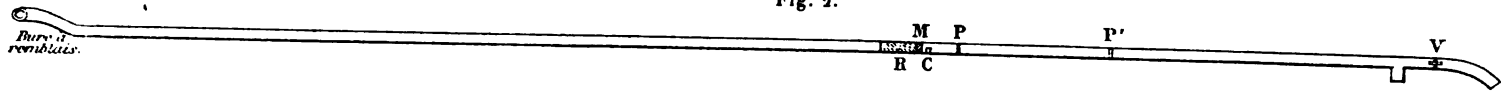


Fig. 3.

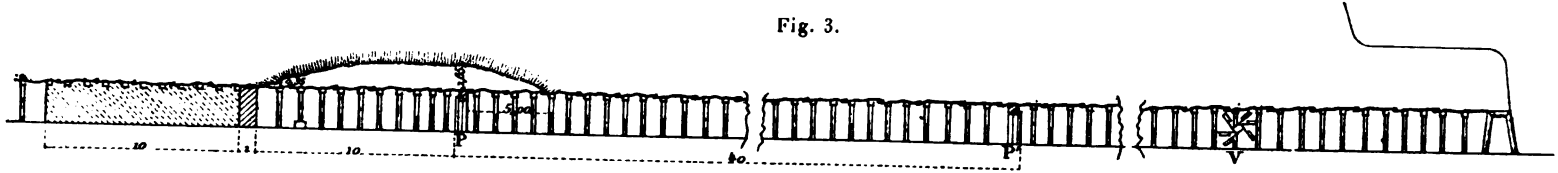


Fig. 4.

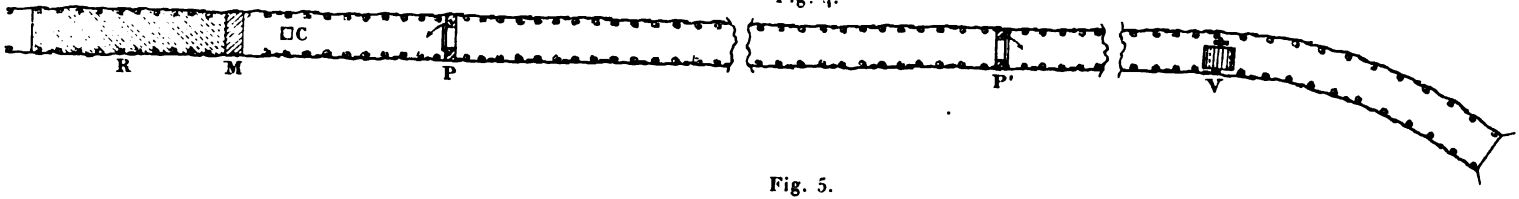
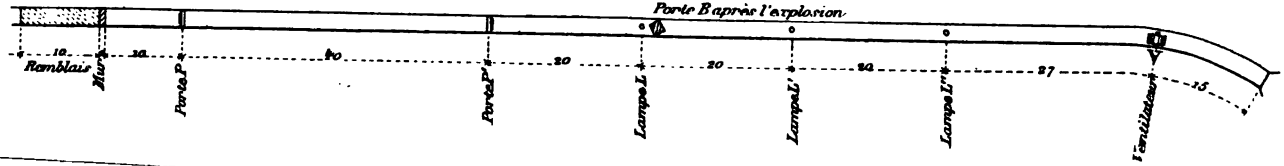


Fig. 5.



Digitized by Google

était mis en mouvement de l'extérieur, au moyen d'une corde passant sur une poulie.

Au moment de la détonation de la caisse, il se produisit un coup de vent à l'extrémité ouverte de la galerie, amenant avec lui un nuage de poussière qui avança au dehors jusqu'à 5^m environ, puis deux autres souffles à une seconde environ d'intervalle et de plus en plus faibles.

En rentrant dans la galerie, on constata que l'une des planches formant ailettes du ventilateur avait été déclouée, mais rien n'avait été brisé. La planche enlevée, fixée seulement par des pointes très courtes, aurait pu être arrachée à la main. Un ventilateur réel, qui aurait été beaucoup plus robuste, n'aurait certainement subi aucune avarie.

La porte placée à 50^m avait été enlevée tout d'une pièce et projetée à 21^m; ses ferrures étaient arrachées et tordues. Le chapeau et les montants qui encadraient la porte avaient été ébranlés; la maçonnerie était intacte.

Mais, au delà, la galerie était éboulée; une bande de rocher s'était détachée de la couronne de la galerie sur 15^m de longueur à partir du mur fermant la galerie (*fig.* 3 et 4). Partout ailleurs le boisage n'eut pas de mal, sauf quelques chandelles qui furent renversées.

Quatre lampes, qui avaient été placées sur le sol de la galerie, à 20^m de distance l'une de l'autre, à partir de la seconde porte se dirigeant vers l'entrée de la galerie, furent toutes renversées, et, par suite, éteintes. Une lampe accrochée au parement, à côté de la dernière, ne s'est pas éteinte (*fig.* 5).

Avant de discuter les résultats de cette expérience, il faut préciser en quoi ses conditions diffèrent de celles qui se rencontreraient en cas d'accident survenant dans un magasin réel. En général, le magasin et la galerie d'accès seront muraillés, ce qui amènera une moins rapide atténuation de l'onde projetée par l'explosion que dans le cas d'une galerie boisée. Par contre, au lieu d'une galerie rectiligne, on ferait toujours un magasin avec des coudes, qui ont la propriété d'éteindre très rapidement les ondes brisantes projetées par la détonation des explosions. Enfin le magasin, qui doit être ventilé, aura le plus souvent deux accès libres, de telle sorte que l'onde, lancée dans les deux direc-

Digitized by Google

tions, aura seulement une intensité moitié de celle obtenue dans la galerie d'expérience, qui était en cul-de-sac.

En somme, on peut dire que les conditions de l'expérience étaient, comme cela doit du reste toujours être, plus dures que celles de la pratique.

En ce qui concerne les ventilateurs, l'expérience montre bien nettement que, à la distance de 150^m, ils ne seraient pas endommagés par la détonation d'une caisse isolée de dynamite. Dans l'état actuel de profondeur des exploitations houillères, cette condition pourra toujours être réalisée; il n'y a donc pas à s'en préoccuper.

En ce qui concerne les portes, l'interprétation des résultats obtenus doit être discutée de plus près. Les portes fermant le magasin ont été complètement balayées, jusqu'à la distance de 50^m; il en serait encore de même sans doute à la distance de 100^m, et peut-être encore à la distance de 200^m. On ne peut donc espérer disposer un magasin de façon que, en cas d'accident, ses portes de fermeture restent indemnes. Il ne faudra donc, en aucun cas, que le magasin débouche dans deux galeries distinctes entre lesquelles l'existence d'une libre communication pourrait suspendre l'aérage dans un quartier de la mine. Le magasin, s'il a deux entrées, devra être placé en dérivation parallèlement à une même galerie, de sorte que son ouverture en grand soit sans influence sur le régime général de l'aérage.

A côté des portes du magasin, il faut se préoccuper des portes, beaucoup plus importantes, qui pourront exister dans les galeries voisines, où elles serviront à la répartition du courant d'air dans les travaux. Ces portes sont beaucoup moins exposées, parce qu'elles ne seront atteintes par l'onde de l'explosion qu'après que celle-ci se sera bifurquée entre plusieurs directions à la sortie du magasin. En outre, elles se trouvent le plus souvent sur une bifurcation d'une galerie dont une branche ouverte en grand offrira un libre passage au coup de vent. A mesure que l'onde de l'explosion progresse, elle s'étale très rapidement, comme l'ont montré de nombreuses expériences de M. Vieille. Cet étalement a été rendu très sensible, dans les expériences de Blanzy, par la durée très appréciable du souffle observé à l'entrée de la galerie. Une semblable onde pourra encore exercer des pressions notables sur

Digitized by Google

un obstacle qui l'arrête complètement, tandis que si son passage n'est qu'à moitié barré, elle pourra s'écouler en ne produisant que des surpressions relativement faibles. La façon dont s'est comporté le ventilateur montre qu'une porte placée au même endroit et n'obstruant que la moitié de la galerie serait restée absolument indemne.

En s'astreignant à ce que les caisses de dynamite soient emmagasinées à une distance des portes d'aérage de la mine égale au moins à 200^{m}, on sera à l'abri de tout risque sérieux. Peut-être, par excès de précaution, pourrait-on doubler cette distance dans certaines circonstances exceptionnelles, dans le cas des puits jumeaux, par exemple, avec lesquels tout l'aérage de la mine est à la merci des portes qui isolent les deux puits l'un de l'autre; ou bien, si l'on ne peut obtenir une semblable distance, exiger l'emploi de portes métalliques très résistantes.

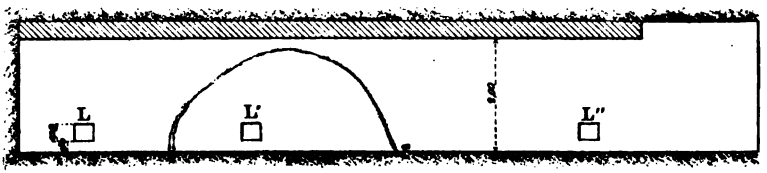
La deuxième série d'expériences avait pour but de chercher un moyen d'empêcher la détonation accidentelle d'une caisse de dynamite, dans un magasin, de se transmettre aux caisses voisines. Le procédé expérimenté a consisté à enfermer chaque caisse de dynamite dans un logement maçonné, fermé par une porte épaisse en fer et séparé de ses voisins par des distances plus ou moins grandes. On espérait ainsi protéger les caisses à la fois contre le choc de l'explosion et la pénétration des gaz chauds.

La galerie destinée à ces expériences a été creusée vers le fond de la carrière Sainte-Hélène; elle se trouvait, au milieu de vieux travaux, dans une couche de houille complètement désagrégée. Elle avait 29^{m} de longueur et 4^{mq} de section; elle était muraillée en maçonnerie de briques de o^{m},36 d'épaisseur, sur une longueur de 11^{m} à partir de son extrémité fermée. Elle était boisée sur le reste de sa longueur, soit sur 18^{m} à partir de son orifice. La maçonnerie, faite à la chaux et terminée depuis une quinzaine de jours seulement, n'avait guère plus de solidité qu'une maçonnerie en pierres sèches. Dans cette maçonnerie, on avait ménagé trois logements pour les caisses de dynamite; ils étaient placés à une hauteur moyenne de o^{m},50 au-dessus du sol de la galerie; leurs parois maçonnées avaient o^{m},30 d'épaisseur, et ils étaient fermés par des portes en tôle de 10^{mm} d'épaisseur, supportées à charnière

Digitized by Google

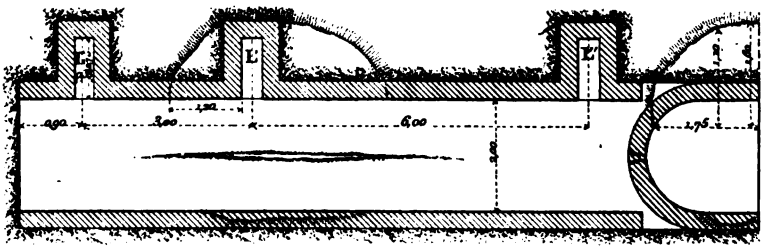
par la partie supérieure et pouvant être maintenues fermées par un verrou placé à la partie inférieure (*fig.* 6, 7 et 8).

Fig. 6.



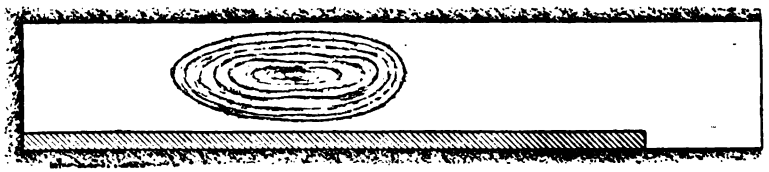
Le premier logement était placé à $0^m,90$ du fond de la galerie, le deuxième à 3^m du premier, et le troisième à 6^m du second.

Fig. 7.



Pour l'expérience, le feu fut mis à la caisse du milieu, en laissant ouverte la porte de son logement. Les portes des deux autres

Fig. 8.



logements étaient simplement rabattues, mais non fermées au verrou, circonstance qui, dans la pratique, pourrait résulter d'une négligence. Dans ces conditions, les deux portes n'étaient pas exactement appliquées sur leur siège et laissaient un entre-bâillement de quelques millimètres.

La détonation ne s'est transmise à aucune des deux caisses latérales et les portes de leur logement ne parurent avoir subi aucun effet de l'explosion. La caisse placée à 3^m était seule un peu coincée dans son logement, sans cependant présenter aucun indice de

Digitized by Google

rupture des planches. Le mauvais état du terrain et le durcissement incomplet des mortiers avaient permis une transmission latérale des pressions, suffisante pour refouler un peu le logement maçonné et, en même temps, amener une fente dans le cadre en fonte qui supportait la porte. Le cône d'arrachement s'est étendu horizontalement à $1^m,20$ et $2^m,10$ de l'axe du logement; il restait encore, du côté de la caisse placée à 3^m, une longueur de mur maçonné, non éboulé, de 1^m. Verticalement, le rayon de rupture a atteint $1^m,50$; la majeure partie de la voûte était restée intacte, bien que la hauteur de la clef au-dessus de la caisse ne dépassât pas $1^m,75$. En face de la caisse ayant fait explosion, la maçonnerie était broyée et éboulée sur un rayon de $1^m,50$ (*fig.* 8). La profondeur du cône, à l'emplacement de la caisse, était de $1^m,20$ et, sur la paroi opposée, de $0^m,20$. La partie boisée de la galerie qui se trouvait entre l'orifice et la partie maçonnée est restée intacte; il n'y a pas eu d'éboulement, comme on aurait pu s'y attendre après les résultats de l'expérience précédente; mais, dans le cas actuel, le boisage était neuf, tandis que dans le précédent il était vieux et en mauvais état.

La conclusion très nette à tirer de cette expérience est que, même dans un terrain exceptionnellement mauvais, il n'y a pas transmission de l'explosion entre des caisses de dynamite enfermées dans des logements distants de 3^m.

On peut résumer les conséquences que comportent ces expériences en formulant un certain nombre de règles dont l'application semble de nature à écarter tout danger grave pour une mine dans le cas où un accident viendrait à se produire dans un dépôt souterrain de dynamite.

En énonçant ces règles, on fait totalement abstraction du peu de probabilité d'accidents semblables, ainsi que des dispositions particulières à telle ou telle mine, qui peuvent déjà, par elles-mêmes, atténuer le danger des accidents, toutes conditions dont l'appréciation appartient aux administrations compétentes chargées de la surveillance des mines.

Chaque caisse sera enfermée dans un logement maçonné, fermé par une porte en fer d'au moins 10^{mm} d'épaisseur. Cette porte sera suspendue à charnière par le haut, de manière à se fermer

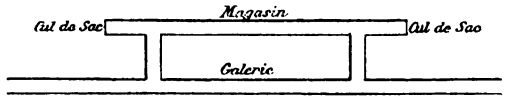
Digitized by Google

d'elle-même, et les gonds seront disposés de telle sorte que, par l'action seule de la pesanteur, la porte s'applique exactement sur son siège. Elle sera maintenue fermée par un verrou opposé à la charnière. Le siège sur lequel la porte s'appuiera sera en métal et présentera un double ressaut, disposé de telle sorte que la porte fermée affleure, sans les dépasser, les rebords extérieurs.

Les logements seront séparés l'un de l'autre par une distance de 4^m, dans les terrains tendres comme dans la houille et les schistes, et de 3^m dans les terrains très durs, comme le grès. Les logements seront placés à la suite l'un de l'autre sur une même paroi du magasin et jamais à la fois sur deux parois opposées.

Le magasin devra, sur chacune de ses communications avec les travaux, présenter au moins un coude prolongé par un cul-de-sac de 5^m de long ou plus, comme le montre le croquis (*fig.* 9) :

Fig. 9.



Les culs-de-sac pourront être utilisés pour l'ouverture des caisses et la distribution des explosifs.

Chaque magasin ne sera en communication qu'avec une seule galerie de la mine, et cette communication, pour les magasins devant renfermer plus de cinq caisses, se fera par deux entrées distinctes fermées seulement par des portes à claire-voie, de façon à assurer sa ventilation.

Chaque magasin sera distant d'au moins 200^m de toute porte d'aérage de la mine, et, autant que possible, de 400^m des portes dont la destruction pourrait supprimer toute ventilation dans la mine entière ou dans un de ses quartiers importants.

Paris, le 8 décembre 1898.

Le rapporteur,
H. LE CHATELIER.

Adopté par la Commission des substances explosives dans sa séance du 8 décembre 1898.

Le secrétaire,
LIOUVILLE.

Le président,
BERTHELOT.

Digitized by Google

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

COMMISSION

DES

SUBSTANCES EXPLOSIVES

PENDANT L'ANNÉE 1898 (1).

RAPPORT SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS EN 1898.

Ce rapport, établi conformément à l'article 4 du décret constituant la Commission des substances explosives, comprend les objets suivants :

1° *Analyse des rapports adressés au Ministre pendant l'année* 1898;

2° *Revue des travaux effectués pendant la même année.*

Analyse des rapports établis pendant l'année.

RAPPORT N° 121. — *Sur l'étude relative au classement des explosifs de mine du type* P *et des cotons-poudres en pâte et comprimés.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. BIJU-DUVAL.)

Par dépêche en date du 12 avril 1897, le Ministre de la guerre a prié

(1) Voir 1 432, 2 573, 3 171, 4 205, 5 68, 6 211, 7 139, 8 60 et 9 118 les *Comptes rendus* des travaux exécutés de 1878 à 1897.

Digitized by Google

la Commission des substances explosives d'examiner si les cotons-poudres en pâte ou comprimés, renfermant au moins 25 pour 100 d'humidité, et les explosifs de mine au coton-poudre et au nitrate d'ammoniaque, dits du type P, ne pourraient pas être assimilés aux explosifs des types C et N, au point de vue des dangers qu'ils présentent dans les transports par voie ferrée.

Dans ses rapports n^os^ 78 et 109, la Commission avait exprimé l'opinion que les explosifs de mine Favier au nitrate d'ammoniaque et à la nitronaphtaline, dits du type N, et les explosifs au crésylate d'ammoniaque et aux nitrates d'ammoniaque ou de soude, dits du type C, peuvent être assimilés, pour les transports par chemins de fer, aux matières simplement inflammables, telles que les brai, goudron, etc.

Les explosifs du type P sont de deux sortes, présentant la composition suivante :

Explosif n° 1	Coton-poudre.....	20
	Nitrate d'ammoniaque.....	80
Explosif n° 2	Coton-poudre.....	9,5
	Nitrate d'ammoniaque.....	90,5

Ces deux types, fabriqués par les poudreries de l'État, sont livrés à l'industrie en cartouches étanches de 50^gr^ et 100^gr^, contenues dans des caisses de 14^kg^; celles-ci sont garnies intérieurement d'une enveloppe en zinc n° 6, fermée par un couvercle de même métal soudé à l'alliage Darcet.

La Commission a fait subir à ces divers explosifs les essais de combustion et de choc auxquels avaient été soumis les explosifs des types C et N; les résultats obtenus permettent d'assimiler les explosifs du type P aux types précités.

Pour le coton-poudre comprimé ou en pâte, contenant au moins 25 pour 100 d'eau, la question se présentait sous un aspect différent. On ne se trouvait plus, en effet, comme pour les poudres des types C, N et P, en présence de produits de composition parfaitement définie et ne pouvant, en cas de défectuosité d'emballage, que perdre encore de leur sensibilité; le phénomène inverse se produirait pour le coton-poudre humide : une partie de son eau disparaissant, sa sensibilité augmenterait plus ou moins, suivant le degré de dessiccation obtenu.

Digitized by Google

Cette condition a conduit tout d'abord la Commission à étudier les dangers que peut présenter le transport du coton-poudre contenant au moins 25 pour 100 d'eau, et à rechercher ensuite si les conditions actuelles d'emballage permettent d'assurer la conservation de cette proportion d'eau pendant les transports.

De nombreux essais de combustion et de choc, semblables à ceux auxquels ont été soumis les explosifs du type P, ont été exécutés, soit sur du coton-poudre en pâte, soit sur des cartouches comprimées de 100^{gr} préparées à la presse hydraulique : les essais de choc n'ont donné aucune explosion et, dans les essais de combustion, la matière s'est comportée comme les explosifs de mine bénéficiant déjà du transport en troisième catégorie, c'est-à-dire qu'elle n'a jamais détoné.

Le coton-poudre en pâte se transporte aujourd'hui, soit dans des caisses en bois doublées de zinc, soit dans des sacs, caoutchoutés ou non, placés eux-mêmes dans des barils en bois. Ce mode d'emballage assure, d'une façon suffisante, la conservation de l'humidité du coton-poudre, en sorte que, dans ces conditions, les propriétés du produit ne peuvent subir aucune modification sensible.

Les résultats des expériences de combustion exécutées par la Commission, ainsi que les renseignements de diverses natures qu'elle a pu recueillir, concordent pour montrer que, même au milieu d'un incendie et dans les circonstances les plus défavorables, le coton-poudre à 25 pour 100 au moins d'humidité présente des garanties de sécurité telles que la probabilité d'un accident grave devient assez faible. Il était donc logique de ne pas maintenir le classement actuel.

En conséquence de ces observations, la Commission a conclu :

1° Que les explosifs de mine du type P présentent, au point de vue des dangers de transport par chemins de fer, des garanties au moins équivalentes à celles réalisées par les explosifs des types C et N;

2° Que le coton-poudre comprimé ou en pâte, à 25 pour 100 au moins d'eau, peut, d'après tous les résultats que la Commission a eus à sa disposition, être classé dans la même catégorie.

La Commission a pensé, en outre, que le mode d'emballage

Digitized by Google

actuellement adopté pour le transport du coton-poudre en pâte entre les différentes poudreries, est suffisant pour éviter toute dessiccation appréciable en cours de transport et qu'il sera facile de donner aux compagnies, par la délivrance d'un certificat émanant de l'établissement expéditeur, la garantie qu'elles pourraient exiger au point de vue du taux d'humidité contenu dans le coton-poudre.

RAPPORT N° 122. — *Sur une question relative au transport par chemins de fer de munitions de guerre chargées.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. BIJU-DUVAL.)

Par dépêche en date du 1er mars 1898, le Ministre de la guerre a transmis à la Commission une demande adressée à M. le Ministre des travaux publics, par MM. Schneider et Cie, du Creusot, tendant à ce que les compagnies de chemins de fer soient autorisées à transporter sans emballage, comme obus chargés mais non amorcés, les cartouches chargées comprenant une douille métallique contenant sa charge de tir et un projectile avec sa charge intérieure de poudre d'éclatement, lorsque les douilles ne sont pas munies de leur étoupille de mise de feu, ni les projectiles de leur fusée.

Le Ministre de la guerre demandait à la Commission d'examiner la question et la priait de lui transmettre son avis sur les dispositions qu'il lui paraîtrait y avoir lieu d'introduire, au sujet de ces cartouches, dans le Règlement du 12 novembre 1897, applicable le 1er avril 1898.

Dans leur demande, MM. Schneider et Cie exposaient qu'ils avaient à fournir, pour les canons de 15cm à tir rapide d'un vaisseau cuirassé argentin, 1600 cartouches chargées, munies de leurs projectiles également chargés. Ces cartouches, suivant la nature du projectile dont elles étaient munies, avaient une longueur totale variant de 1m,475 à 1m,550 et pesaient 69kg ou 79kg. MM. Schneider et Cie expliquaient que, pour satisfaire aux règlements des Compagnies de chemins de fer, ils seraient conduits à emballer leurs cartouches dans des caisses en bois de 18mm d'épaisseur, doublées de zinc, et faisaient remarquer qu'une pareille sujétion entraînerait des frais considérables, sur lesquels ils n'avaient pas compté; en vue de les éviter, ils demandaient que

Digitized by Google

les Compagnies de chemins de fer fussent autorisées à effectuer le transport des cartouches dont il s'agit en les assimilant à des obus chargés mais non amorcés, qui peuvent être transportés en vrac. Les cartouches ne seraient pas munies de leur étoupille de mise de feu et les fusées de leurs projectiles seraient remplacées par des bouchons métalliques; ces cartouches seraient alors chargées dans des wagons fermés, après avoir été soigneusement arrimées sur des sommiers en bois.

La Commission a pensé que les conditions ci-dessus définies étaient suffisantes pour le transport de ces munitions et que le transport par caisses d'un poids de 350^{kg} à 400^{kg}, difficiles à manier, présenterait des inconvénients qui ne seraient compensés par aucun accroissement de sécurité.

La Commission a, en outre, remarqué que la réglementation actuelle, même dans le cas où aucune exception ne serait faite pour le transport des poudres contenues dans des récipients d'une nature spéciale, n'exigerait pas l'emploi de caisses en bois doublées de zinc ou de fer-blanc : une des doubles enveloppes prescrites serait, en effet, constituée par la douille elle-même.

En conséquence, et conformément aux considérations développées ci-dessus, la Commission a pensé qu'une réponse favorable pouvait être donnée à la demande de MM. Schneider et C^{ie} et qu'il y aurait lieu d'introduire, dans le Règlement du 12 novembre 1897, une disposition autorisant, d'une façon générale, les Compagnies de chemins de fer à transporter en vrac, sans emballage spécial, les munitions de guerre composées d'une douille métallique contenant sa charge de tir et d'un projectile contenant sa charge de poudre d'éclatement, aux conditions expresses :

1° Que les cartouches ne soient pas munies de leur étoupille de mise de feu;

2° Que les projectiles ne soient pas munis de leur fusée, ces deux artifices étant, pendant le transport, remplacés par des bouchons assurant une fermeture absolue;

3° Que les munitions soient transportées dans des wagons fermés, où elles seraient arrimées soigneusement sur des sommiers en bois.

Digitized by Google

RAPPORT N° 123. — *Sur une demande de la Société française des explosifs, pour la fabrication de nouveaux types de dynamite.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. BIJU-DUVAL.)

Par dépêche du 10 mai 1898, le Ministre de la guerre a soumis à l'examen de la Commission des substances explosives une demande formulée par la Société française des explosifs, à l'effet d'être autorisée à fabriquer, dans son usine de Cugny, les différents types de dynamite ayant respectivement la composition suivante :

1° Gélatine dynamite M^a (formule anglaise).	Nitroglycérine	74
	Coton azotique soluble	4
	Nitrate de potasse	11
	Cellulose	10,5
	Carbonate de magnésie	0,5
2° Dynamite gélatinée n° 2^a.	Nitroglycérine	50
	Coton azotique soluble	1,5
	Nitrate de potasse	42
	Cellulose	6,5
3° Dynamite gélatinée n° 2^b.	Nitroglycérine	45
	Coton azotique soluble	3
	Nitrate de potasse	42
	Cellulose	10
4° Dynamite gélatinée n° 2^c.	Nitroglycérine	43
	Coton azotique soluble	2
	Nitrate de potasse	41
	Cellulose	14
5° Dynamite n° 1, à l'ammoniaque.	Nitroglycérine	40
	Nitrate d'ammoniaque	45
	Nitrate de soude	5
	Cellulose	10
6° Dynamite n° 2^a, à l'ammoniaque.	Nitroglycérine	20
	Nitrate d'ammoniaque	75
	Cellulose	5
7° Dynamite n° 2^b, à l'ammoniaque.	Nitroglycérine	22
	Nitrate d'ammoniaque	75
	Charbon de bois	3
8° Dynamite n° 2 (Type spécial pour l'exportation).	Nitroglycérine	40
	Cellulose	17
	Nitrate de potasse	43

Digitized by Google

Ces divers types d'explosifs rentrent, par leur composition, dans la catégorie des dynamites gélatinées à base active qui, d'après l'expérience acquise en France et à l'étranger, présentent une sécurité suffisante dans la fabrication, la manipulation et l'emploi.

Toutefois, l'innocuité de ces dynamites est liée, d'une part, au degré de purification des matières premières employées et, d'autre part, aux propriétés physiques du produit final.

En ce qui concerne la pureté des matières premières, le contrôle exercé par les Agents des Poudres et Salpêtres et les épreuves auxquelles sont soumis les cotons azotiques livrés aux dynamiteries par l'État, constituent des garanties suffisantes.

En ce qui concerne la résistance à l'exsudation, la Commission a fait exécuter, sur tous les échantillons détaillés ci-dessus, les expériences ordinaires sur l'influence de l'humidité, de la chaleur et de la compression.

A la suite de ces expériences, la Commission a estimé que la fabrication de ces divers explosifs pouvait être autorisée. Elle signalait cependant :

1° Le peu de résistance à l'exsudation qu'a montré la gélatine M^a dans l'épreuve de compression;

2° L'acidité de plusieurs des dynamites essayées, acidité due au défaut de neutralité des matières premières employées, sels ou cellulose. Mais la surveillance attentive de l'Agent des Poudres et Salpêtres devra suffire, en fabrication courante, pour que ce dernier défaut soit évité.

La Commission a pensé, en outre, que ces divers types de dynamite ne comportent pas l'emploi de précautions spéciales d'emballage autres que celles en usage pour les explosifs analogues. Néanmoins, elle a rappelé l'importance qu'il y a à exiger un encartouchage étanche très soigné pour les dynamites au nitrate d'ammoniaque ou de soude, pour lesquelles il y aurait lieu, selon un avis déjà donné, de limiter à une durée maximum de trois mois le séjour en magasin.

Digitized by Google

RAPPORT N° 124. — *Sur l'examen d'un échantillon de dynamite dit* Gomme BS, *fabriqué à l'usine de Saint-Martin-de-Crau.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. BIJU-DUVAL.)

Par dépêche du 8 juillet 1898, le Ministre de la guerre a prié la Commission des substances explosives de soumettre à ses épreuves ordinaires un échantillon de la dynamite dite *Gomme BS,* nouvellement préparée par la Société anonyme d'explosifs et de produits chimiques, dans son usine de Saint-Martin-de-Crau, et de vérifier si cette dynamite présente des garanties suffisantes de stabilité pour que la fabrication puisse en être autorisée.

La composition de cette dynamite est la suivante :

Gomme BS.	Nitroglycérine.....	69,50
	Coton azotique.....	5,50
	Nitrate de potasse.....	24,75
	Cellulose.....	0,25

Le procédé de fabrication est le même que pour les autres dynamites-gommes. L'encartouchage est fait à la machine et l'enveloppe est constituée d'un seul papier parchemin, en raison de la non-hygrométricité des matières employées.

Les dynamites de cette espèce présentent généralement une sécurité suffisante dans la fabrication, la manipulation et l'emploi, lorsque la pureté des matières premières employées est assurée et que l'état physique du produit lui permet de résister aux causes normales d'exsudation.

En ce qui concerne la pureté des matières premières employées, le contrôle exercé par l'Agent des Poudres et Salpêtres à Saint-Martin-de-Crau et la livraison par l'État des cotons azotiques constituent des garanties suffisantes.

En ce qui concerne la résistance à l'exsudation, la Commission a fait exécuter, sur les cartouches reçues, les expériences ordinaires relatives à l'influence de l'humidité, de la chaleur et de la compression; elles ont montré que la dynamite-gomme BS présente toutes les garanties nécessaires pour une bonne conservation.

En conséquence, la Commission a conclu que la fabrication de la Gomme BS, à la dynamiterie de Saint-Martin-de-Crau, peut être

Digitized by Google

définitivement autorisée et qu'il n'y a pas lieu d'imposer des précautions spéciales pour l'emballage de ce type d'explosif.

Rapport n° 125. — *Sur l'examen d'un nouveau numéro d'explosif de mine du type* C.

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. Biju-Duval.)

Par dépêche du 7 mai 1898, le Ministre de la guerre informait la Commission des substances explosives qu'il venait d'être saisi d'une demande de fabrication et de mise en vente d'un nouveau numéro d'explosif de mine du type C, dont la composition était la suivante :

Crésylate d'ammoniaque.....	95
Nitrate d'ammoniaque.....	5

Le Ministre invitait la Commission à lui faire connaître si l'on pouvait considérer ce mélange comme susceptible d'emploi dans les mines et, dans l'affirmative, quelle était sa force théorique, comparée à celles des poudres noires. Dans le cas de la négative, le Ministre demandait à la Commission d'établir les limites extrêmes des proportions de l'un des deux composants qui permettraient de considérer le mélange comme un explosif capable d'être utilisé pratiquement.

Dans un rapport antérieur (n° 105), la Commission avait exprimé l'avis que le crésylate d'ammoniaque à 30 pour 100 environ de trinitrocrésol se comportait, au point de vue des effets explosifs, comme le nitrate d'ammoniaque et n'était pas susceptible d'être employé seul dans les mines.

Ce résultat faisait penser qu'en n'ajoutant que 5 pour 100 de nitrate au crésylate on n'obtiendrait vraisemblablement pas un mélange remplissant les conditions posées par le Ministre. Deux autres mélanges contenant respectivement 20 et 35 pour 100 de nitrate d'ammoniaque furent donc demandés.

Ces matières furent essayées dans les conditions ordinaires en usage pour la vérification des explosifs de mine du type P, au coton-poudre et au nitrate d'ammoniaque. Les résultats obtenus n'ayant pas été satisfaisants, on demanda deux autres mélanges encore plus riches en nitrate d'ammoniaque et contenant l'un 50

Digitized by Google

pour 100 et l'autre 65 pour 100 de ce sel. Ces deux compositions donnèrent lieu à une nouvelle série d'essais, comparativement avec les trois premiers mélanges.

Ces expériences ont consisté à faire détoner sous terre un certain nombre de cartouches, placées bout à bout au fond d'un trou vertical foré à la barre à mine et, afin de se rapprocher plus complètement encore des conditions réalisées dans les mines, elles ont été complétées par des essais analogues faits dans des morceaux de pierre de taille disposés eux-mêmes au fond de trous remblayés avec soin après mise en place de ces pierres.

Les trois premiers types n'ont donné que des effets insuffisants; au contraire, les mélanges à 50 et 65 pour 100 de nitrate d'ammoniaque se sont montrés légèrement supérieurs aux explosifs du type P.

La force théorique des divers mélanges expérimentés a été, en outre, mesurée au laboratoire central des poudres, conformément à la demande du Ministre.

A la suite de ces essais, la Commission a conclu :

1° Qu'un mélange de trinitrocrésylate d'ammoniaque et de nitrate d'ammoniaque ne constitue un explosif d'emploi pratique dans les mines que s'il contient au moins 50 pour 100 de nitrate d'ammoniaque;

2° Que la force théorique d'un explosif contenant parties égales de crésylate et de nitrate d'ammoniaque est de 8900.

Rapport n° 126. — *Sur l'examen d'une demande d'autorisation pour la fabrication d'un nouveau type de dynamite.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. Biju-Duval.)

Par dépêche du 16 août 1898, le Ministre de la guerre a soumis à l'examen de la Commission des substances explosives une demande faite par la Société générale pour la fabrication de la dynamite, à l'effet d'obtenir l'autorisation de fabriquer, dans ses usines d'Ablon et de Paulilles, un nouveau type de dynamite, dénommé *Gomme AA,* et présentant la composition suivante :

Nitroglycérine	94
Coton azotique	6

Digitized by Google

Ce nouveau type de dynamite ne différait, comme composition, de la dynamite-gomme ordinaire, dont la fabrication est autorisée en France, que par la diminution de la proportion de coton azotique. La Gomme AA présentait des garanties de même ordre, relativement à la pureté des matières premières; mais la proportion de coton azotique employée joue un si grand rôle dans la préparation de ces sortes de dynamite qu'il y avait lieu d'examiner particulièrement les propriétés exsudantes de ce produit. La Commission a donc été amenée à porter son examen sur la résistance à l'exsudation des échantillons présentés et à vérifier si la qualité du coton azotique employé dans leur fabrication permettait d'obtenir des produits comparables à la dynamite-gomme ordinaire.

Les essais ordinaires, destinés à vérifier la stabilité et la résistance à l'exsudation, ont été exécutés sur les échantillons provenant des usines d'Ablon et de Paulilles; ils ont amené la Commission à émettre la conclusion que la dynamite-gomme AA préparée par la Société générale pour la fabrication de la dynamite présentait une résistance à l'exsudation sensiblement inférieure à celle du type ordinaire de dynamite-gomme actuellement autorisé, et un accident s'étant produit en cours des essais de la Commission, elle a émis l'avis qu'il conviendrait de ne pas autoriser cette fabrication.

Rapport n° **127**. — *Sur les expériences faites aux mines de Blanzy, le 6 juillet 1898. (Conditions d'établissement des dynamitières souterraines.)*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. Le Chatelier.)

Ce Rapport est inséré *in extenso* au *Mémorial* (*voir* p. 7).

Revue des travaux effectués pendant l'année 1898.

Parmi les études en cours au commencement de l'année 1898, certaines sont maintenant terminées, à la suite de rapports adressés au Ministre pendant l'année. Le tableau suivant en donne le numéro d'ordre, le titre et le numéro du rapport, analysé plus haut, qui les concerne :

Digitized by Google

NUMÉRO d'ordre.	TITRE DE L'ÉTUDE.	NUMÉRO du dernier rapport établi.
100	Conditions d'établissement des dynamitières souterraines.....	127
128	Transport des cotons-poudre en pâte ou comprimés.....	121
131	Demande de MM. Schneider et Cie pour le transport de munitions de guerre.....	122
132	Examen d'un nouveau numéro d'explosif de mine du type C.....	125
133	Examen d'une demande de la Société française des explosifs, pour la fabrication de nouveaux types de dynamite.....	123
134	Examen d'un échantillon de dynamite dite *Gomme BS*.....	124
137	Examen d'une demande d'autorisation pour la fabrication d'un nouveau type de dynamite.	126

La Commission n'a pas eu l'occasion, au cours de l'année 1898, de recueillir de nouvelles données concernant les études générales relatives à la sensibilité, à l'amorçage et à la vitesse de propagation de la détonation des explosifs (Études nos 5, 10, 44 et 82) qu'elle maintient ouvertes, ni sur les études particulières restant en cours, à l'exception des suivantes :

1° Étude n° 135. — *Transport par chemins de fer de nouveaux types de dynamite.*

2° Étude n° 136. — *Fabrication, par les poudreries de l'État, de cinq nouveaux types d'explosifs.*

La Commission a reçu divers échantillons devant servir aux expériences nécessaires qui lui permettront de se prononcer, avec connaissance de cause, sur ces diverses questions. Les expériences continuent et donneront lieu prochainement à l'établissement de rapports qui seront adressés au Ministre.

Digitized by Google

ANNEXE.

CHANGEMENTS SURVENUS DANS LE PERSONNEL DE LA COMMISSION PENDANT L'ANNÉE 1898.

Au 1er janvier 1898, la Commission des substances explosives était composée ainsi qu'il est indiqué ci-dessous :

MM. BERTHELOT, membre titulaire, président;
SARRAU, membre titulaire, vice-président;
MORIN, membre titulaire;
LECHIEN, membre titulaire;
CASTAN, membre titulaire;
CORNU, membre titulaire;
BERTRAND, membre titulaire;
VIEILLE, membre titulaire;
LIOUVILLE, membre titulaire, secrétaire.

BERTRAND, membre adjoint;
BIJU-DUVAL, membre adjoint;
CRÉ, membre adjoint;
DÉSORTIAUX, membre adjoint;
GERBAULT, membre adjoint;
HENRY, membre adjoint;
RAFFAELLI, membre adjoint;
LEDOUX, membre adjoint;
LE CHATELIER, membre adjoint;
CHESNEAU, membre adjoint.

Par décision du 6 décembre 1898, le Ministre de la guerre a nommé membres adjoints de la Commission des substances explosives :

1° M. HAGRON, ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, en remplacement de M. l'ingénieur en chef DÉSORTIAUX, appelé à la direction de la raffinerie de Marseille;

2° M. BONNICHON, capitaine d'artillerie attaché à la section technique, en remplacement de M. le capitaine RAFFAELLI, désigné pour prendre le commandement d'une batterie au 11e régiment.

Digitized by Google

En conséquence, l'état de la Commission, au 31 décembre 1898, est le suivant :

MM. BERTHELOT, membre titulaire, président;
SARRAU, membre titulaire, vice-président;
MORIN, membre titulaire;
LECHIEN, membre titulaire;
CASTAN, membre titulaire;
CORNU, membre titulaire;
BERTRAND, membre titulaire;
VIEILLE, membre titulaire;
LIOUVILLE, membre titulaire, secrétaire.

BERTRAND, membre adjoint;
BONNICHON, membre adjoint;
BIJU-DUVAL, membre adjoint;
CRÉ, membre adjoint;
GERBAULT, membre adjoint;
HAGRON, membre adjoint;
HENRY, membre adjoint;
LEDOUX, membre adjoint;
LE CHATELIER, membre adjoint;
CHESNEAU, membre adjoint.

Paris, le 9 février 1899.

Vu :

Le président, *Le secrétaire,*

BERTHELOT. LIOUVILLE.

Digitized by Google

COMMISSION CENTRALE DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

VITESSES ET PRESSIONS

DÉVELOPPÉES A DIVERSES CHARGES

PAR LES POUDRES DE CHASSE PYROXYLÉES

DANS LES ARMES DE CHASSE.

Les vitesses V, en mètres, mesurées à 15^m de la bouche, et les pressions P, exprimées en kilogrammes par centimètre carré, sont représentées par les formules indiquées dans les Tableaux ci-dessous.

ϖ = la charge de la poudre en grammes,

p = la charge de plomb en grammes.

Les formules ne doivent pas être appliquées à des poids de poudre et de plomb notablement inférieurs aux plus faibles charges mentionnées dans les Tableaux, et c'est pourquoi ceux-ci présentent des lacunes systématiques. Au-dessous de ces charges, le fonctionnement des poudres est irrégulier et les vitesses et pressions réalisées sont en général inférieures à celles qu'indiqueraient les formules.

D'autre part, pour des poids plus forts de poudre et de plomb, la capacité de la douille de chasse ordinaire (65^{mm} de longueur), pleine sans tassement, serait dépassée.

Il convient d'ailleurs d'éviter ce tassement ainsi que les sertissages énergiques; d'après des expériences assez nombreuses, le résultat de ces opérations est d'augmenter très peu les vitesses, beaucoup les pressions et les écarts moyens. Le léger accroissement de vitesse qu'on acquerrait ainsi s'obtient bien plus aisément par l'addition d'une faible surcharge de poudre.

Les nombres les plus élevés figurant dans les Tableaux donnés

Digitized by Google

ci-dessous peuvent être un peu dépassés en employant des douilles de 75^{mm}, mais les formules données ne peuvent être appliquées en toute sûreté à des charges, soit de poudre, soit de plomb, s'écartant beaucoup des données mentionnées dans ces Tableaux.

Il serait d'ailleurs inutile de calculer des résultats de cette espèce, les réactions subies alors par le tireur devenant trop désagréables pour qu'il puisse les supporter couramment.

Les limites des pressions développées dans les armes de calibre **12**, **16** et **20**, lors des épreuves des armes finies, atteignent à peine 800^{kg} en général, et il est, en conséquence, prudent de choisir les charges de poudre et de plomb de manière à ne pas atteindre ces limites. Il est d'ordinaire facile et il est désirable, quel que soit le but pratique que l'on veuille atteindre, d'éviter les pressions supérieures à 650^{kg}.

Les données résumées dans les Tableaux qui suivent reproduisent les moyennes d'un grand nombre d'expériences; dans des conditions extrêmes de température ou d'humidité, les vitesses et pressions réalisées peuvent différer un peu de ces moyennes.

Poudre S n° 2. — Calibre 12.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{2}{3}}}{p^{\frac{1}{3}}}, \qquad \log A = 2{,}50704,$$

$$P = K\varpi^{\frac{3}{4}} p^{\frac{1}{2}} \qquad \log K = 1{,}46866.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.					
	30 grammes		36 grammes.		40 grammes.	
	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.
gr			m	kg	m	kg
2,20	//	//	221,9	319	216,2	336
2,40	m 246,2	kg 311	235,2	340	229,1	359
2,60	259,7	330	248,1	361	//	//
2,80	272,8	349	260,7	382	//	//
3,00	285,7	367	//	//	//	//
3,20	298,2	386	//	//	//	//

Digitized by Google

Poudre S n° 2. — Calibre 16.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{2}{3}}}{p^{\frac{1}{4}}}, \qquad \log A = 2,53894,$$

$$P = K\varpi^{\frac{3}{4}} p^{\frac{1}{2}}, \qquad \log K = 1,66738.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.					
	25 grammes.		30 grammes.		35 grammes.	
	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.
gr			m	kg	m	kg
1,80	"	"	218,7	396	210,4	427
2,00	m 259,6	kg 350	234,6	428	225,7	463
2,20	276,7	376	250,0	460	"	"
2,40	293,2	401	264,9	491	"	"
2,60	309,3	426	"	"	"	"

Poudre S n° 2. — Calibre 20.

$$V = \frac{A\varpi^{2}}{p^{\frac{1}{4}}}, \qquad \log A = 2,59020,$$

$$P = K\varpi^{\frac{3}{2}} p^{\frac{3}{4}}, \qquad \log K = 1,51561.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.					
	20 grammes.		26 grammes.		30 grammes.	
	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.
gr			m	kg	m	kg
1,40	"	"	215,7	384	208,1	418
1,60	"	"	235,8	469	227,5	511
1,80	"	"	255,1	559	246,1	609
2,00	m 292,2	kg 560	273,6	655	"	"
2,20	311,3	645	291,6	756	"	"
2,40	345,5	735	"	"	"	"

Digitized by Google

Poudre M. — Calibre 12.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{6}{10}}}{p^{\frac{1}{3}}}, \qquad \log A = 2,66958,$$

$$P = K\varpi p^{\frac{9}{10}}, \qquad \log K = 0,73300.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.					
	30 grammes.		36 grammes.		40 grammes.	
	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.
gr	m	kg	m	kg	m	kg
1,00	"	"	214,5	272	207,1	299
2,20	"	"	227,1	299	219,3	329
2,40	254,3	277	239,3	327	"	"
2,60	266,8	300	251,1	354	"	"
2,80	278,9	323	"	"	"	"
3,00	290,7	346	"	"	"	"

Poudre M. — Calibre 16.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{6}{10}}}{p^{\frac{1}{3}}}, \qquad \log A = 2,71401,$$

$$P = K\varpi p^{\frac{9}{10}}, \qquad \log K = 1,03719.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.					
	25 grammes.		30 grammes.		35 grammes.	
	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.
gr	m	kg	m	kg	m	kg
1,60	"	"	220,9	343	209,8	394
1,80	"	"	237,0	386	225,2	443
2,00	268,3	364	252,5	429	"	"
2,20	284,1	400	267,4	471	"	"
2,40	299,3	437	"	"	"	"
2,60	314,1	473	"	"	"	"

Digitized by Google

Poudre M. — Calibre 20.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{6}{10}}}{p^{\frac{1}{6}}}, \qquad \log A = 2{,}55942,$$

$$P = K\varpi p^{\frac{9}{10}}, \qquad \log K = 1{,}24729.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.					
	20 grammes.		26 grammes.		30 grammes.	
	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.
gr			m	kg	m	kg
1,20	"	"	210,8	398	204,9	453
1,40	"	"	231,3	464	224,7	528
1,60	"	"	250,6	531	243,5	604
1,80	m 283,4	kg 472	268,9	597	"	"
2,00	301,9	524	286,5	663	"	"
2,20	319,6	576	"	"	"	"

Poudre R. — Calibre 12.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{1}{2}}}{p^{\frac{1}{4}}}, \qquad \log A = 2{,}57808,$$

$$P = K\varpi^{\frac{5}{4}} p^{\frac{9}{8}}, \qquad \log K = 0{,}34046.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.					
	30 grammes.		36 grammes.		40 grammes.	
	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions	Vitesses.	Pressions.
gr			m	kg	m	kg
2,00	"	"	218,5	294	212,9	331
2,20	"	"	229,2	331	223,2	372
2,40	m 250,6	kg 300	239,4	369	233,2	415
2,60	260,8	332	249,2	408	"	"
2,80	270,6	364	258,6	447	"	"
3,00	280,1	397	"	"	"	"
3,20	289,3	430	"	"	"	"

Digitized by Google

Poudre R. — Calibre 16.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{1}{2}}}{p^{\frac{1}{4}}}, \qquad \log A = 2{,}60611,$$

$$P = K\varpi^{\frac{5}{4}}\, p^{\frac{9}{8}}, \qquad \log K = 0{,}53752.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.					
	25 grammes.		30 grammes.		35 grammes.	
	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.
gr	m	kg	m	kg	m	kg
1,60	//	//	218,2	285	210,0	339
1,80	//	//	231,5	330	222,7	392
2,00	255,4	307	244,0	376	234,8	448
2,20	267,8	345	255,9	424	//	//
2,40	279,7	385	267,3	473	//	//
2,60	291,2	426	//	//	//	//
2,80	302,1	467	//	//	//	//

Poudre R. — Calibre 20.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{1}{2}}}{p^{\frac{1}{4}}}, \qquad \log A = 2{,}64245.$$

$$P = K\varpi p^{\frac{2}{3}}, \qquad \log K = 1{,}61068.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.					
	20 grammes.		26 grammes.		30 grammes.	
	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.
gr	m	kg	m	kg	m	kg
1,40	//	//	230,0	501	221,9	552
1,60	//	//	245,9	573	237,3	630
1,80	278,5	541	260,8	645	251,7	709
2,00	293,6	601	274,9	716	//	//
2,20	307,9	661	288,4	788	//	//
2,40	321,6	722	//	//	//	//
2,60	334,7	782	//	//	//	//

Digitized by Google

Poudre J n° 2. — Calibre 12.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{1}{2}}}{p^{\frac{1}{3}}}, \qquad \log A = 2,32545,$$

$$P = K\varpi p^{\frac{1}{2}}, \qquad \log K = 1,29563.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.									
	20 grammes.		25 grammes.		30 grammes.		36 grammes.		40 grammes.	
	Vitesses.	Pressions	Vitesses.	Pressions	Vitesses.	Pressions	Vitesses.	Pressions	Vitesses.	Pressions
gr					m	kg	m	kg	m	kg
3,00	"	"	"	"	239,5	325	234,1	356	231,0	375
3,40	"	"	m 260,9	kg 336	255,0	368	249,3	403	"	"
3,80	m 283,6	kg 336	275,8	375	269,6	411	"	"	"	"
4,20	298,2	371	290,0	415	283,4	454	"	"	"	"
4,60	312,0	406	303,4	454	"	"	"	"	"	"
5,00	325,3	442	"	"	"	"	"	"	"	"
5,40	338,1	477	"	"	"	"	"	"	"	"

Poudre J n° 2. — Calibre 16.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{1}{2}}}{p^{\frac{1}{3}}}, \qquad \log A = 2,37509,$$

$$P = K\varpi p^{\frac{1}{2}}, \qquad \log K = 1,50923$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.									
	15 grammes.		20 grammes.		25 grammes.		30 grammes.		35 grammes.	
	Vitesses.	Pressions	Vitesses.	Pressions	Vitesses.	Pressions	Vitesses.	Pressions	Vitesses.	Pressions
gr									m	kg
2,20	"	"	"	"	"	"	"	"	225,6	420
2,40	"	"	"	"	"	"	m 240,2	kg 425	235,6	459
2,60	m 272,6	kg 325	m 263,0	kg 376	m 255,8	kg 420	250,0	460	"	"
2,80	282,9	350	272,9	405	271,0	452	"	"	"	"
3,00	292,8	376	282,5	433	"	"	"	"	"	"
3,20	302,4	400	"	"	"	"	"	"	"	"
3,40	311,0	425	"	"	"	"	"	"	"	"

Digitized by Google

Poudre J n° 2. — Calibre 20.

$$V = \frac{A\varpi^{\frac{1}{2}}}{p^{\frac{1}{8}}}, \qquad \log A = 2,39855,$$

$$P = K\varpi p^{\frac{1}{2}}, \qquad \log K = 1,77434.$$

POIDS de la charge de poudre.	POIDS DES CHARGES DE PLOMB.					
	22 grammes.		26 grammes.		30 grammes.	
	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.	Vitesses.	Pressions.
gr					m	kg
2,00	"	"	"	"	231,4	652
2,10	"	"	m 241,4	kg 637	237,2	684
2,20	"	"	247,1	667	242,7	717
2,30	m 258,0	kg 642	252,7	698	248,2	749
2,40	263,5	670	258,1	728	"	"
2,50	269,0	697	"	"	"	"
2,60	274,3	725	"	"	"	"

Paris, le 13 août 1898.

Le rapporteur,
LIOUVILLE.

Vu :
Le président,
E. SARRAU.

Digitized by Google

COMMISSION CENTRALE DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

RAPPORT

SUR LA

SUPPRESSION DU BINAIRE-SALPÊTRE

DANS LA FABRICATION DES POUDRES DE CHASSE.

Par une dépêche n° 6623, en date du 1er décembre 1896, M. le Ministre de la guerre avait renvoyé à l'examen de la Commission de fabrication des poudres une proposition, faite par M. l'ingénieur en chef Billardon, en vue de fabriquer les poudres de chasse par emploi d'un seul binaire, le binaire-soufre, avec addition de salpêtre tamisé, et prescrit de lui faire connaître si, à l'avis de cette Commission, cette mesure pouvait être généralisée sans inconvénient pour la qualité desdites poudres ou la sécurité des opérations.

Le 16 janvier suivant, la Commission adoptait un rapport de M. l'ingénieur en chef Morin, concluant dans les termes ci-après : « L'apport du salpêtre simplement tamisé à $1^{mm},4$, qui ne peut avoir d'inconvénients pour les poudres grenées à la tonne-grenoir ou aux grenoirs à cylindres, présente un peu moins de sécurité pour les poudres passant aux grenoirs à retour et, d'autre part, si l'on peut, sans expériences préalables, affirmer que la suppression du binaire-salpêtre ne nuira pas aux qualités balistiques des

Digitized by Google

poudres de chasse, il n'en est pas de même en ce qui concerne le crassement et surtout l'intensité de la fumée. »

A la suite de ce rapport, M. le Ministre de la guerre prescrivit aux poudreries d'Esquerdes, de Saint-Ponce et de Toulouse, de rechercher, par des essais de fabrication de quelques échantillons de poudre de chasse ordinaire, avec ou sans emploi de binaire-salpêtre, s'il est possible de constater, dans les produits obtenus, des différences appréciables au point de vue du crassement et de la fumée : la trituration aux meules devait être d'une heure seulement.

A Esquerdes, le crassement a été étudié au moyen d'une arme spécialement disposée pour permettre de déterminer avec précision le poids des résidus, sur des séries de cinquante coups consécutifs et avec un mode de chargement destiné à favoriser autant que possible l'encrassement; les essais ont montré que la suppression de la trituration du salpêtre dans la tonne binaire n'a aucune influence ou, du moins, que cet effet est complètement masqué ou détruit par les circonstances secondaires, et cela malgré l'emploi d'un mode de chargement spécial. La fumée a été simplement observée à l'œil et les observateurs n'ont pu percevoir aucune différence, à ce point de vue, entre les différents échantillons comparés.

A Saint-Ponce, on s'est appliqué principalement à fabriquer, sans binaire-salpêtre, des poudres satisfaisant aux conditions de réception; le tir des poudres ainsi obtenues a été exécuté comparativement avec des poudres de la fabrication courante, et l'observation n'a fait constater aucune différence dans le crassement ou la fumée développée.

A Toulouse, on a fabriqué comparativement des échantillons avec et sans binaire-salpêtre : le grain a été extrait en totalité de compositions triturées deux heures sous les meules.

Le crassement a été mesuré par pesage des canons d'un fusil calibre 16 ordinaire au bout de cinq coups seulement, le chargement employé étant le chargement réglementaire, qui comporte une bourre grasse : ces mesures ont montré que les poudres

Digitized by Google

à un et deux binaires ne présentent que peu de différence au point de vue du crassement, qui cependant, dans les deux séances d'essai, a été légèrement plus abondant avec les poudres à deux binaires.

Pour apprécier l'intensité de la fumée, on s'est servi d'un dispositif imaginé par M. l'ingénieur Thibaudau (1), consistant dans l'emploi d'une caisse en bois où l'on recueille la fumée produite par les deux coups de feu du fusil, tirés successivement : l'intensité de la fumée est mesurée par le temps qui s'écoule depuis le moment du commandement *feu* jusqu'au moment où l'évacuation de la fumée permet de lire une lettre affichée contre une paroi de la caisse en regardant par une vitre ménagée dans la paroi opposée : ce temps est déterminé au moyen d'un compteur à secondes.

Cette méthode a permis de constater, malgré la trituration de deux heures donnée aux poudres essayées, qu'avec deux binaires on avait un peu moins de fumée qu'avec un seul binaire : la différence est voisine mais reste cependant au-dessous de celle que donne une augmentation de charge de $\frac{1}{13}$ ou de celle que l'on obtient en passant du grain n° 3 au grain n° 0 de la même fabrication, en tirant à la même charge.

En résumé, il ressort des expériences d'Esquerdes que la suppression du binaire-salpêtre n'a aucune influence sur le crassement; de celles de Toulouse, qu'elle a bien, sur l'intensité de la fumée, l'effet prévu, mais que cet effet n'est pas assez important pour qu'on proscrive d'une façon absolue l'emploi d'un seul binaire dans la fabrication des poudres de chasse ordinaire.

En conséquence, la Commission émet l'avis que la suppression du binaire-salpêtre dans la fabrication des poudres de chasse n'étant pas susceptible de diminuer d'une façon notable les qualités des produits, peut être autorisée d'une façon exceptionnelle, en raison de circonstances particulières et temporaires; mais l'économie qui peut résulter de cette suppression étant insignifiante, il convient de maintenir, comme procédé normal de fabrication des poudres de chasse, l'emploi des deux binaires, qui a été adopté d'une façon générale pour toutes les poudres en raison des garanties de sécurité qu'il présente, surtout lorsqu'on doit les grener

(1) *Mém. des poud. et salp.*, t. IX, p. 153

Digitized by Google

au grenoir à retour, et qui est prescrit par l'Instruction sur la fabrication des poudres de chasse nouveau type, approuvée le 14 mars 1897 par M. le Ministre de la guerre.

Paris, le 25 mai 1898.

Le Rapporteur,
BARRAL.

Adopté par la Commission centrale du service des Poudres et Salpêtres, dans sa séance du 25 mai 1898.

Le Secrétaire,
J. RIBAILLIER.

L'Inspecteur général, Président,
E. SARRAU.

Approuvé :
Le Ministre de la guerre,
Pour le Ministre et par son ordre :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

Digitized by Google

COMMISSION DU GRISOU.

ACCIDENTS SURVENUS

PAR SUITE

D'EXPLOSION TARDIVE

DE

CARTOUCHES DE GRISOUNITE.

RAPPORT PRÉSENTÉ A LA COMMISSION (1)

PAR

M. SARRAU,

Ingenieur en chef des poudres et salpêtres,
Membre de l'Institut.

Par dépêche en date du 27 février 1896, M. le Ministre des travaux publics a soumis à l'examen de la Commission du grisou, en lui demandant son avis, le dossier d'un accident survenu, le 20 décembre dernier, au puits Châtelus, n° 1, des mines de houille de Beaubrun, où un ouvrier a été légèrement blessé par l'explosion tardive d'un coup de mine chargé de grisounite.

Il résulte du procès-verbal, établi sous la forme habituelle, que cet accident s'est produit dans les circonstances suivantes :

Trois trous de mine, forés dans une même taille, avaient été chargés chacun d'une cartouche de 100^{gr} de grisounite-couche (composition : azotate d'ammoniaque 95,5; trinitronaphtaline 4,5), amorcée avec détonateur de 1^{gr},5 de fulminate. Le feu ayant été mis aux trois mèches, les trois ouvriers du chantier, qui s'étaient garés dans les environs immédiats, entendirent « trois détonations bien distinctes, dont les deux premières presque coup sur coup et

(1) *Annales des Mines*, livraison de juillet 1896.

Digitized by Google

la troisième à deux ou trois secondes d'intervalle, cette dernière plus sourde que les deux autres ». Ils revinrent donc au chantier, et au moment où ils arrivaient au front de la taille, un des coups, qui fumait encore, partit et blessa l'un d'eux au visage. Il semblerait donc que ce coup fût parti en deux fois, l'explosion finale ayant été précédée d'une première explosion partielle.

Le fait est d'autant plus digne d'attention que, d'après les documents communiqués, des circonstances analogues se sont présentées antérieurement.

Le 8 septembre 1891, dans les premiers essais de la grisounite, au puits du Ban des mines de Roche-la-Molière et Firminy, un trou de mine avait été chargé de deux cartouches. Après la mise de feu, « on entendit une détonation un peu sourde », et l'un des assistants, s'étant avancé, constata que « le coup n'avait pas travaillé et que du trou sortait une fumée jaunâtre épaisse »; puis une seconde explosion se produisit, qui le blessa légèrement.

En avril 1891, au cours d'expériences faites au puits Lachaux, de la même Compagnie, l'explosion d'un coup de mine chargé à 150^{gr} avait eu lieu en deux fois et, dans un autre coup de mine chargé à 300^{gr}, « on avait entendu trois détonations à un intervalle de deux ou trois secondes ».

Un autre fait, recueilli par l'un des membres de la Commission du grisou, doit aussi être signalé : il y a trois ou quatre ans, dans les exploitations de Montceau, un coup de mine ayant été allumé à l'électricité, les ouvriers, ayant entendu la détonation de la capsule, pensèrent que le coup avait raté. Au moment où ils arrivaient près du chantier, une explosion se produisit avec un retard qui était de deux ou trois minutes au moins; aucun d'eux, heureusement, ne fut blessé.

Les faits précités paraissent suffisamment établis; pour en concevoir une explication plausible, il est utile de rappeler quelques notions relatives aux décompositions explosives.

La décomposition d'un explosif n'a pas lieu suivant une seule réaction caractéristique; une cause importante de variation résulte de la pression sous laquelle les produits se trouvent placés pendant la réaction.

Digitized by Google

La dynamite, le coton-poudre, l'azotate d'ammoniaque, en général les explosifs azotés purs ou mélangés, fusent lentement à l'air libre, suivant un mode de décomposition caractérisé par un dégagement abondant de bioxyde d'azote.

Les mêmes matières, enflammées dans une capacité close et résistante, se décomposent rapidement sans trace de bioxyde d'azote.

Il importe, d'ailleurs, de remarquer que ce second mode, le seul qui soit véritablement explosif, se substitue fréquemment au premier dès que quelque circonstance extérieure, venant à gêner le dégagement des gaz, accroît la pression. Ainsi s'expliquent les accidents survenus en brûlant des cartouches de dynamite à l'air libre ou en cherchant à réaliser dans des tubes la combustion fusante de matières telles que le picrate d'ammoniaque.

La réaction provoquée par les détonateurs, dont l'amorce au fulminate de mercure est le type usuel, ne diffère pas de celle qui se produit par inflammation en vase clos, sous de fortes pressions. Ce qui caractérise alors le phénomène, c'est la rapidité avec laquelle la décomposition se propage sous l'influence du détonateur; cette rapidité est telle que la masse tout entière tend à se décomposer dans un volume peu différent de son volume initial, et c'est ainsi que naissent des pressions énormes, même à l'air libre ou sous bourrage léger.

Par suite de défectuosités de l'amorce ou de l'amorçage, une charge peut s'enflammer et fuser lentement au lieu de détoner; il y a alors ce qu'on appelle un *raté de détonation*, et l'explosif se décompose suivant le mode caractéristique des faibles pressions, avec dégagement de bioxyde d'azote.

La faculté de détoner par l'amorce et de propager la détonation varie beaucoup avec la substance; l'azotate d'ammoniaque est, à cet égard, particulièrement insensible, et la propriété détonante de la grisounite n'est due qu'à la présence d'une petite quantité de nitronaphtaline. On comprend donc que des circonstances peu apparentes puissent entraver la détonation de cet explosif.

Ces remarques s'appliquent aux faits signalés : à Montceau, il semble n'y avoir eu qu'un raté de détonation déterminant d'abord la décomposition fusante; l'augmentation progressive de la pression dans le trou de mine a déterminé ensuite la décomposition explosive.

Digitized by Google

Dans l'accident du 8 septembre 1891, on peut admettre que la cartouche amorcée a détoné seule d'abord, d'une façon plus ou moins complète, et qu'elle a simplement enflammé la seconde. Les détails relatés au procès-verbal donnent, d'ailleurs, à supposer que, dans ce cas, une partie de la bourre s'était interposée entre les deux cartouches. La décomposition fusante, à laquelle on peut attribuer les « fumées jaunâtres » observées, s'est ensuite transformée en réaction explosive.

On peut expliquer de la même manière les faits constatés en avril 1891, dans des trous de mine chargés soit de deux, soit de trois cartouches juxtaposées.

Quant à l'accident survenu à Beaubrun, le 20 décembre 1895, il semble plus difficile à expliquer, le trou de mine, où s'est produite la double explosion, n'ayant été chargé que d'une cartouche unique. Il faudrait admettre qu'une irrégularité fortuite dans la contexture de la charge a suffi pour opposer à la propagation de la détonation un obstacle comparable à celui qu'un défaut de contact peut créer au point de séparation de deux cartouches.

En résumé, si l'on tient compte des avantages particuliers qui ont fait recommander l'emploi des grisounites et, en général, des dynamites à l'azotate d'ammoniaque dans les mines grisouteuses, il paraît que les accidents dus à la faible sensibilité de ces explosifs soient jusqu'à présent trop peu nombreux et trop peu importants pour qu'on puisse songer à interdire l'usage de ces matières.

Les seules mesures qui semblent utiles consistent à faire connaître aux exploitants de mines les accidents déjà relevés, les circonstances dans lesquelles ils se sont produits et les raisons qui les peuvent expliquer, à insister auprès des ingénieurs des mines pour que tous les accidents de même nature que ceux dont il vient d'être question, et qui ont pu se produire, soient recherchés et relatés en faisant connaître avec exactitude les circonstances dans lesquelles ils se sont produits.

La réunion de ces documents donnerait, au sujet des difficultés d'emploi des grisounites et des explosifs analogues, des renseignements qu'il ne semble pas possible de demander aux expériences de la Commission des substances explosives. La probabilité de reproduire à volonté des circonstances qui se sont présentées si rarement dans le service courant des mines, semble trop

Digitized by Google

faible pour qu'on puisse avoir recours à l'expérimentation, et les faits signalés ne sont pas, d'ailleurs, en désaccord avec les principes théoriques admis jusqu'ici.

Il conviendrait enfin de signaler aux exploitants que les ouvriers chargés de mettre en œuvre les grisounites ou explosifs analogues doivent, dès qu'ils ont quelque indice d'une explosion incomplète, laisser s'écouler quelques minutes avant de visiter le trou de mine et rester abrités pendant ce temps.

26 mars 1896.

AVIS DE LA COMMISSION DU GRISOU.

La Commission,

Après avoir entendu la lecture du rapport de M. Sarrau et en avoir délibéré,

Considérant que les circonstances dans lesquelles se sont produits les ratés de détonation de coups de mine chargés à la grisounite-couche Favier, faisant l'objet de ce rapport, ne sont pas suffisamment élucidées pour qu'on puisse en indiquer avec précision la cause, ni formuler les mesures nécessaires pour en éviter le retour; que la probabilité de les reproduire dans les expériences de laboratoire est, d'ailleurs, infiniment trop faible pour qu'on puisse espérer en trouver une explication certaine par des recherches scientifiques directes, et que, dans ces conditions, on ne peut l'attendre que de l'étude minutieuse des anomalies semblables survenues dans la pratique;

Considérant, d'autre part, que ces accidents, d'ailleurs fort rares, se sont généralement produits dans la période d'essai de cet explosif; que leurs conséquences, peu graves, eussent été évitées en revenant moins promptement sur les coups de mines après les premières détonations; que, dès lors, il ne saurait convenir de renoncer à l'emploi de la grisounite-couche Favier pour des inconvénients encore aussi aléatoires;

Ne pouvant cependant méconnaître l'importance des indications fournies par les faits cités, et adoptant, dans leur ensemble, les conclusions du rapporteur;

Est d'avis qu'il y a simplement lieu de signaler les faits en question aux exploitants de mines, en les engageant à informer avec

Digitized by Google

détails les Ingénieurs des mines de tous les faits semblables, même non suivis d'accidents de personne, qui seraient parvenus dans le passé ou parviendraient dans l'avenir à leur connaissance, de façon que les services locaux en fassent l'objet de rapports à M. le Ministre des travaux publics.

La Commission émet, en outre, le vœu que le rapport de M. Sarrau et le présent avis soient insérés aux *Annales des Mines*.

Paris, le 28 avril 1896.

Digitized by Google

COMMISSION DU GRISOU.

EXPÉRIENCES RELATIVES

A LA

DÉTONATION DES GRISOUNITES FAVIER

RAPPORT PRÉSENTÉ A LA COMMISSION (1)

PAR

M. SARRAU,

Inspecteur général des poudres et salpêtres,
Membre de l'Institut.

La Commission du grisou a précédemment donné son avis sur des accidents survenus par suite d'*explosion retardée* de cartouches de grisounite, et un rapport à ce sujet a été inséré aux *Annales des Mines*. La Commission, après en avoir délibéré, a reconnu que les circonstances dans lesquelles ces accidents s'étaient produits n'étaient pas assez élucidées pour qu'il fût possible d'indiquer avec précision la cause de ces accidents, ni de formuler les mesures propres à en éviter le retour. Considérant, d'autre part, que les conséquences, peu graves, de ces accidents fort rares eussent été évitées en revenant moins promptement sur les coups de mine après la mise de feu, et qu'il ne saurait convenir de renoncer à l'emploi des grisounites pour des inconvénients encore aussi aléatoires, la Commission a été d'avis qu'il y avait « simplement lieu de signaler les faits en question aux exploitants de mines en les engageant à informer avec détails les Ingénieurs des mines de tous les faits semblables, même non suivis d'accidents

(1) *Annales des Mines*, livraison de février 1899.

Digitized by Google

de personne, qui seraient parvenus dans le passé ou parviendraient dans l'avenir à leur connaissance, de façon que les services locaux en fassent l'objet de rapports à M. le Ministre des travaux publics. » (28 avril 1896).

A la suite d'un nouvel accident, survenu le 9 novembre 1896 aux mines de Plat-de-Gier et paraissant être de même nature que les précédents, la Commission s'est livrée à un nouvel examen de la question; mais elle a été unanime à penser que les circonstances de ce nouvel accident étaient encore trop obscures pour qu'il fût à propos d'en faire l'objet d'une communication aux Ingénieurs des mines et pour qu'il fût possible d'indiquer avec certitude les précautions à prendre. Elle a été d'avis qu'avant de formuler une proposition ferme à ce sujet il y avait lieu de faire des expériences sur le mode de décomposition des grisounites et d'en attendre les résultats.

Ces expériences ont été faites, avec l'autorisation de M. le Ministre de la guerre, à la poudrerie d'Esquerdes, par les soins des Ingénieurs de cet établissement (1). Le but de ces expériences était de rechercher s'il était possible de réaliser expérimentalement, sur les grisounites Favier, le mode de fonctionnement explosif qui, suivant l'hypothèse consignée dans un rapport présenté à la Commission du grisou (2) et inséré aux *Annales des Mines* (3), paraissait susceptible d'expliquer les explosions, dites *retardées,* auxquelles les accidents ont été attribués.

L'explication dont il s'agit consistait à supposer :

1° Que, par suite de défectuosités de l'amorce ou de l'amorçage, une charge de grisounite pouvait s'enflammer et fuser lentement, dans le trou de mine, suivant un mode de décomposition comparable à celui qui se produit lorsque les dynamites ou le coton-poudre comprimé brûlent à l'air libre par suite d'une inflammation directe ou d'un raté de détonation;

2° Que, par suite de circonstances amenant éventuellement un accroissement de pression, cette décomposition fusante pouvait se transformer subitement en décomposition explosive.

---

(1) MM. Billardon, Directeur; Patart, Ingénieur.
(2) Séance du 26 mars 1896.
(3) Livraison de juillet 1896.

Digitized by Google

Les expériences d'Esquerdes ont été dirigées de manière à examiner successivement ces deux points.

On rappellera d'abord que les grisounites livrées par la Société française des poudres de sûreté sont de deux espèces :

1° La *grisounite-couche,* composée de 4,5 pour 100 de trinitronaphtaline et de 95,5 pour 100 de nitrate d'ammoniaque;

2° La *grisounite-roche,* composée de 8,5 pour 100 de dinitronaphtaline et de 91,5 pour 100 de nitrate d'ammoniaque.

Les cartouches livrées à la consommation sont constituées d'une façon différente pour ces deux explosifs.

La grisounite-couche qui, par suite de la forte proportion de nitrate d'ammoniaque qu'elle renferme, est d'une sensibilité médiocre à l'action du fulminate, est simplement tassée, à l'aide d'une boudineuse, dans des cylindres en carton léger.

Les cartouches de grisounite-roche sont formées d'une partie, égale aux $\frac{4}{5}$ environ de la charge, comprimée en forme de cylindre creux et renfermant le reste de la charge à l'état pulvérulent; la partie pulvérulente reçoit l'action du détonateur et la transmet, amplifiée, à la partie comprimée.

Les expériences d'Esquerdes ont, en outre, utilisé, ainsi qu'il sera dit plus loin, des cartouches spéciales, aux dosages couche et roche, formées, comme les cartouches ordinaires de grisounite-roche, d'une partie pulvérulente et d'une partie comprimée, avec cette différence que la densité de la partie comprimée, ordinairement égale à 1,15, avait été augmentée jusqu'à 1,60 environ, c'est-à-dire portée au maximum que peuvent fournir les appareils de compression.

En ce qui concerne la décomposition fusante des grisounites, on savait déjà, par deux expériences antérieures, que l'inflammation de ces explosifs à l'air libre était particulièrement difficile. Une expérience, faite en novembre 1892, par la Commission des substances explosives, a montré que, « si l'on essaye d'allumer une cartouche de grisounite (couche ou roche) avec un fer rouge, la paraffine et l'enveloppe de papier prennent feu au contact du fer; la matière même commence à brûler très lentement, mais ne tarde pas à s'éteindre ». De plus, « des cartouches projetées

Digitized by Google

dans un foyer en combustion vive ont brûlé sans produire de détonation, même lorsque les cartouches étaient enfermées dans une caisse en bois » (1).

Des expériences similaires, faites à Esquerdes, ont montré que, placées dans un feu vif, les cartouches brûlent avec une flamme claire, mais que, si on les retire, elles ne tardent pas à s'éteindre. L'expérience a été répétée jusqu'à trois fois avec la même cartouche, qu'on plaçait dans le feu, que l'on retirait dès que son inflammation était vive et que l'on replaçait dans le feu dès qu'elle s'était éteinte. Dans l'inflammation ainsi produite on n'observa aucune production de vapeur nitreuse.

Ces essais, tendant à produire la décomposition fusante sous de faibles pressions, par l'action d'une température extérieure élevée, ont été repris, sous une autre forme, en chauffant la matière des grisounites dans une capsule en platine sur la flamme d'une forte lampe à alcool. Elle fond alors, puis dégage des vapeurs blanches sans trace de vapeurs nitreuses; les vapeurs blanches ayant disparu, il reste, sous forme de points noirs, des résidus de naphtaline di ou trinitrée qui se décomposent encore plus lentement et sans flamme. Si, dans cette expérience, on supprime la source de chaleur, alors que la matière est en pleine décomposition, la réaction s'arrête presque instantanément.

Une expérience analogue a été faite, sous bourrage léger, en plaçant, au fond fermé d'un tube de cuivre (4^{cm} de diamètre et 50^{cm} de longueur), 40^{gr} de matière de grisounite-roche et en complétant le remplissage du tube avec du sable sec. Ce tube étant mis dans un feu vif, après quatre ou cinq minutes, le sable déborde par l'orifice supérieur, des fumées blanches se dégagent jusqu'à la fin de la réaction. Le résultat est le même, si l'on augmente la résistance du bourrage en substituant au sable de l'argile plastique fortement tassée.

Ces diverses expériences montrent, d'une part, la difficulté de provoquer la décomposition fusante des grisounites et, d'autre part, la nécessité, pour l'entretenir, de maintenir la permanence de la cause qui l'a produite.

(1) Commission des substances explosives, Rapport n° 78, 9 février 1893.

Digitized by Google

Cherchant ensuite à imiter les conditions mêmes de l'emploi usuel dans les trous de mine, les Ingénieurs d'Esquerdes ont essayé de produire la réaction fusante des grisounites dans l'intérieur d'un tube, sans détonateur, en employant la poudre noire comme amorce, dans des conditions telles que l'on doit même admettre que la décomposition fusante, si elle s'était produite, devait se transformer en réaction explosive.

A cet effet, dans le tube mentionné plus haut, a été placée une cartouche de grisounite-roche où le quart de la charge pulvérulente, soit 3^{gr}, avait été remplacé par 3^{gr} de poudre de chasse extra-fine. Une mèche de mise de feu, ayant une extrémité hors du tube, plongeait dans la poudre; le tout était entouré de sable achevant de remplir le tube et formant bourrage; enfin, le tube était fermé à ses extrémités par des brides, contre-brides et boulons. Le feu ayant été mis au cordeau, aucun bruit ne s'est produit et, deux minutes environ s'étant écoulées, on a déboulonné le tube, et la cartouche a été trouvée inaltérée; l'amorce de poudre noire était entièrement brûlée, mais la surface de l'explosif en contact avec elle était à peine noircie et la décomposition fusante ne s'était pas amorcée. Cet essai, répété deux fois, a donné deux fois le même résultat.

Les Ingénieurs d'Esquerdes ont ensuite recherché si la décomposition fusante, qu'ils n'avaient pas réalisée en employant la poudre noire comme agent d'inflammation, ne pourrait pas être obtenue par l'emploi de détonateurs dans des conditions particulières produisant ce que l'on appelle un *raté de détonation*. Ils ont fait varier, dans ce but, d'une façon méthodique, la puissance du détonateur de manière à déterminer une limite à partir de laquelle se produise régulièrement le raté de détonation de la matière pulvérulente, et ils ont employé à cet effet quatre types de détonateurs (A, B, C, D), dont les trois premiers ont été fournis spécialement par la Société française des munitions. Ces détonateurs étaient constitués comme il suit :

A. $0^{gr},25$ de fulminate pur, avec opercule, c'est-à-dire le détonateur usuel;

B. $0^{gr},25$ de fulminate pur, sans opercule, compression faible;

Digitized by Google

C. $0^{gr},25$ d'un mélange de fulminate et de chlorate de potasse, sans opercule;

D. $0^{gr},40$ d'une composition détonante spéciale, avec petit opercule.

Une série d'expériences préalables, dont les résultats furent très réguliers, avait conduit d'abord aux conclusions suivantes : la cartouche étant simplement posée dans un trou, de sa hauteur et de son diamètre, fait dans l'argile grasse du sol naturel, le détonateur A produit à tout coup la détonation de la matière pulvérulente de grisounite-couche ou de grisounite-roche;

le détonateur B produit, une fois sur deux, la détonation de la matière de grisounite-roche et n'entraîne pas celle de la grisounite-couche;

les détonateurs C et D produisent régulièrement le raté de détonation avec les deux espèces de grisounite.

A la suite de ces constatations, l'expérience suivante a été faite : une cartouche de grisounite-roche a été placée dans le tube mentionné plus haut, avec cordeau de mise de feu armé d'un détonateur D plongeant dans la matière pulvérulente; le bourrage intérieur ayant été fait au sable, comme il a été dit précédemment, et la fermeture du tube ayant été opérée avec les brides et boulons, on a déterminé l'explosion du détonateur. L'appareil étant ensuite ouvert, on a constaté que la partie de la cartouche correspondant au logement du détonateur était brisée, mais qu'aucune trace d'inflammation n'existait sur le reste de la cartouche, notamment sur la matière pulvérulente.

Le résultat a été le même dans d'autres expériences où la matière pulvérulente était partiellement remplacée par de la poudre noire, dans laquelle plongeait le détonateur; la poudre seule était enflammée.

L'objet de toutes ces expériences était, comme on l'a déjà dit, de rechercher s'il était possible de provoquer, par les moyens habituels, l'inflammation des matières pulvérulentes, et d'amorcer ainsi leur décomposition fusante persistante. Une autre question a été examinée: en supposant que la matière pulvérulente détone, mais que cette détonation ne se propage pas dans la matière com-

Digitized by Google

primée, celle-ci ne peut-elle pas s'enflammer de manière à présenter ensuite la décomposition fusante?

La sensibilité à la détonation d'une grisounite comprimée variant continuellement avec le degré de compression, les expérimentateurs d'Esquerdes ont cherché à avoir des matières parfaitement rebelles à la détonation, et c'est dans ce but qu'ils ont demandé à la Société française des Poudres de sûreté les cartouches spéciales qui ont été précédemment signalées et dans lesquelles la densité de la partie comprimée, qui est normalement 1,15, a été portée à 1,60. Les matières ainsi comprimées se sont en effet montrées inaptes à détoner, mais leur mise en expériences a présenté des difficultés particulières. L'intensité de la détonation de la matière pulvérulente est telle en effet qu'il est difficile de réaliser l'explosion dans une enceinte fermée où l'on puisse recueillir, pour les examiner, les fragments de matière qui n'ont pas détoné. On y est arrivé de la façon suivante :

Sur une plaque en acier chromé de 3^{cm} d'épaisseur, on a placé l'un sur l'autre deux blocs cylindriques de plomb de 10^{cm} d'épaisseur et de 25^{cm} de diamètre, percés concentriquement d'un trou cylindrique de 35^{mm} de diamètre. La cartouche étant placée au fond, on a fait détoner la matière pulvérulente au moyen d'un détonateur convenable, et l'on a recueilli dans le fond les fragments de l'explosif qui ont échappé à la détonation et n'ont pas été projetés à l'extérieur. On a toujours constaté que ces fragments étaient absolument inaltérés et qu'aucune trace de combustion ne pouvait être observée à leur surface.

On arrive aux mêmes conclusions si l'on produit l'explosion dans un trou de mine ordinaire; mais les fragments sont alors plus difficiles à recueillir, et comme, d'autre part, ils sont souillés par la terre, leur examen est moins facile.

Il résulte de ce qui précède que, avec les moyens variés qui ont été employés, les Ingénieurs d'Esquerdes ne sont jamais arrivés à produire dans l'explosif, à l'air libre ou sous bourrage, une décomposition fusante se continuant d'elle-même en l'absence de tout agent étranger. On n'a pu la réaliser que sous l'influence persistante de la chaleur, et elle cesse quand cette influence est supprimée. Cette circonstance restreignait beaucoup le champ des expériences destinées à produire la transformation, en réac-

Digitized by Google

tion explosive, de cette décomposition si difficile à obtenir. Les Ingénieurs d'Esquerdes se sont bornés à faire l'expérience suivante, qui n'a que la valeur d'une simple indication. Une cartouche de grisounite-roche, ayant été enflammée dans un feu vif, a été rapidement saisie et enfouie, tout enflammée, dans un tas de sable. Aucune projection ne s'est produite, aucune fumée n'a été aperçue, et la cartouche a été retrouvée encore très chaude, mais éteinte.

Tout en reconnaissant, dans le rapport qui résume ces expériences, que la seule explication des prétendus retards de détonation des grisounites paraît être celle qui repose sur l'hypothèse d'une décomposition fusante préalable, M. l'ingénieur Patart estime que précisément les explosifs dont il s'agit se sont montrés, dans ses expériences, particulièrement rebelles à ce mode spécial de décomposition, « même quand on fait usage de moyens notablement plus énergiques et plus efficaces que ceux auxquels on peut assimiler les procédés d'amorçage industriellement employés ».

« Dès lors, ajoute-t-il, il n'apparaît pas que les accidents constatés puissent être attribués à des propriétés particulières des explosifs employés, mais à des circonstances autres, dont les opérateurs se sont peut-être incomplètement rendu compte, susceptibles de se produire avec tout autre explosif plus naturellement encore qu'avec ceux dont il s'agit. »

Dans une Note *Sur les explosions tardives*, récemment insérée dans le *Génie civil*, M. Schmerber, ingénieur des arts et manufactures, a fait connaître les résultats d'expériences qui donnent sur la question d'intéressantes indications. Il a cherché, dit-il, par des ratés de détonation, « à provoquer la décomposition fusante, afin de voir si elle se transforme, à un moment donné, en réaction explosive ».

» On pouvait, ajoute-t-il, obtenir ce résultat avec les grisounites usuelles, soit en faisant usage d'amorces plus faibles, soit en augmentant la compression des cartouches. L'auteur a renoncé à ces deux moyens, parce que, d'une part, il lui « a été impossible de se procurer, dans le commerce, des amorces correspondant au

Digitized by Google

point limite auquel la décomposition instantanée pouvait être remplacée par la décomposition lente », et que, d'autre part, l'on n'obtenait, par la compression, que « des résultats trop incertains, dus à des différences très faibles dans le degré de compression de la poudre, ces variations, presque impossibles à éviter, suffisant souvent pour passer de détonations très violentes aux ratés complets. »

L'auteur a donc employé un troisième moyen consistant à augmenter la proportion de nitrate d'ammoniaque, de manière à constituer des mélanges moins sensibles et susceptibles d'être seulement enflammés, sans détoner, par les amorces usuelles. Il a formé ainsi une série de 15 poudres ayant une proportion de trinitronaphtaline variant de 4,50 à 1 pour 100, et, en employant les amorces du commerce, dont les charges en fulminate sont croissantes à partir de $0^{gr},25$, il a fait une série d'essais préliminaires, afin de fixer, pour chaque poudre, la charge limite de fulminate au-dessous de laquelle la détonation cesse de se produire.

Dans cette recherche, qui s'est faite par tâtonnements, l'auteur s'est servi d'un tube en fer, de 30^{mm} de diamètre et $0^{m},50$ de longueur, figurant un trou de mine. On introduisait la charge au fond du tube, on bourrait énergiquement, et l'on faisait détoner l'amorce de fulminate soit à la mèche, soit à l'électricité. Plus de cent trente essais ont été effectués, et « aucun de ces essais n'a donné d'explosion tardive, bien que tous ceux qui ont donné des ratés ou des détonations incomplètes se soient trouvés dans les conditions voulues pour produire la décomposition lente ».

Des essais définitifs ont été faits, avec bourrage nul ou léger, soit avec des cartouches à l'air libre, soit avec des charges recouvertes d'une couche de sable, soit dans des tubes en fer sans aucun bourrage. D'autres essais ont été faits, sous bourrage énergique, dans des tubes fermés suivant un dispositif similaire de celui qui a été réalisé dans les expériences d'Esquerdes. Dans tous ces essais, fort nombreux, on a employé comme excitateurs soit les amorces fulminantes limites, soit de petites charges de poudre noire ou de coton-poudre. Dans quelques-unes de ces expériences, le tube était préalablement échauffé par la flamme de l'alcool contenu dans un petit réservoir circulaire extérieur; enfin, pour se rapprocher des conditions de la mine, l'auteur a imaginé

Digitized by Google

d'entourer complètement la cartouche, dans l'intérieur du tube, d'une garniture de charbon comprimé, en bourrant en outre avec du charbon pulvérulent. Il a obtenu, dans ces conditions variées, des ratés, des détonations complètes ou partielles, mais jamais de détonation tardive.

L'auteur signale seulement que, dans quelques cas, il semble qu'il y ait eu un commencement de décomposition fusante; mais celle-ci, ajoute-t-il, « ne s'est jamais transformée en décomposition explosive, bien que les conditions dans lesquelles le commencement de combustion de ces cartouches s'est produit aient été des plus favorables à la transformation de la décomposition lente en phénomène explosif ».

En résumé, il résulte de cet exposé que de nombreuses expériences ont été faites, dans les conditions les plus variées, sans que jamais aucun phénomène se soit produit en imitation d'*explosions tardives* et sans qu'aucune confirmation ait été apportée à l'hypothèse proposée pour en fournir l'explication. Il semble que l'on puisse en conclure, avec une probabilité voisine de la certitude, que le fonctionnement explosif des grisounites ne présente aucune circonstance appréciable qui conduise à en interdire ou à en restreindre l'emploi.

Il conviendrait toutefois de rappeler aux exploitants que les ouvriers chargés de mettre en œuvre les grisounites doivent, dès qu'ils ont quelque indice d'une explosion incomplète, laisser s'écouler quelques minutes avant de visiter le trou et rester abrités pendant ce temps.

18 janvier 1899.

E. SARRAU.

Adopté par la Commission du grisou dans sa séance du 18 janvier 1899.

Le Secrétaire,
L. CHESNEAU.

Le Président,
HATON DE LA GOUPILLIÈRE.

Digitized by Google

NOTE SUR LA DESTRUCTION

PAR LA FOUDRE

DE TROIS ATELIERS DE LA POUDRERIE

DE CLERMONT-SUR-MEUSE (BELGIQUE),

PAR

M. F. GUCHEZ,

Inspecteur général des explosifs en Belgique (1).

La foudre a rasé trois ateliers de la poudrerie de la Société Muller et C^ie^, à Clermont-sur-Meuse, au cours d'un orage violent, accompagné d'une pluie torrentielle, qui a sévi sur la contrée pendant la nuit du 30 juin au 1^er^ juillet 1897.

Les ateliers détruits (*fig.* 1) sont :

A. Grenoir à cadre, composé de deux tamis greneurs et de six tamis épousseteurs;

B. Local divisé en deux compartiments abritant, l'un une transmission de mouvement et deux presses hydrauliques, l'autre une presse de galetage;

C. Grenoir à cylindres, contenant deux cylindres concasseurs, deux cylindres greneurs et un crible. A ce grenoir attenait un blutoir d'époussetage D.

Ces bâtiments, étagés sur le flanc d'un vallon boisé, étaient constitués chacun par trois murs en briques et une devanture vitrée surmontée d'un toit léger, en tôle ondulée; les plantations,

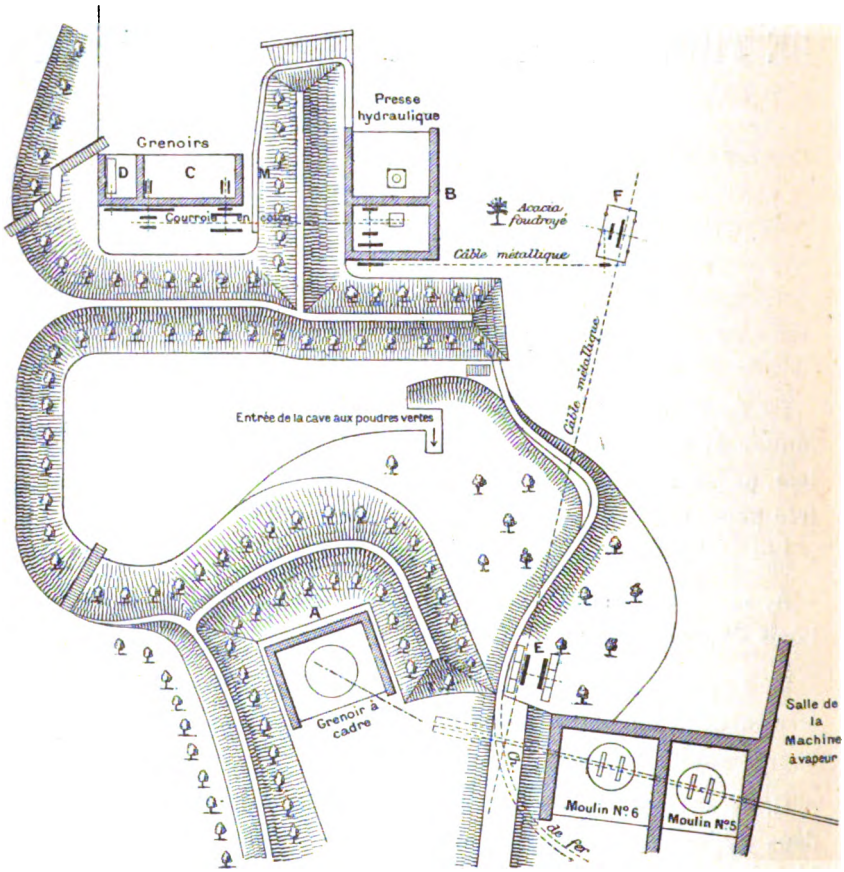
(1) *Annales des Mines de Belgique* (année 1898, t. III, p. 275).

Digitized by Google

assez touffues, étaient formées de taillis et de jeune futaie dans laquelle dominaient les acacias.

Les locaux A, B, C étaient masqués par des levées en terre, et la force motrice était distribuée, comme le montre le plan, à

Fig. 1.



l'aide d'arbres, de roues d'angle, de câbles télédynamiques et de courroies en coton. En F, notamment, s'élevait une forte charpente en fer, servant de support à deux roues coniques et à deux poulies de transmission.

Les locaux prémentionnés contenaient :

Digitized by Google

A, quatre charges, de 25^{kg} chacune, de galettes venant des moulins à poudre, soit 100^{kg}.

B, deux pressées, soit 300^{kg}, de galettes dures, et quatre charges, soit 100^{kg}, de galettes tendres venant des moulins; en tout 400^{kg}. (Cette quantité de 400^{kg} était disposée le long du pignon.)

C, trois bacs de grains et deux bacs de poussier, en tout 125^{kg}.

D, huit bacs, de 30^{kg} chacun, de grains fins, soit 240^{kg}. La quantité totale des matières explosibles qui ont déflagré s'élève donc à 865^{kg} environ.

L'explosion s'étant produite vers 4^{h}30^{m} du matin, alors que tous les ateliers étaient déserts, on n'a eu à constater que des dégâts matériels, sans accident de personnes.

D'après le gardien de nuit, qui s'était réfugié au réfectoire des ouvriers, à 75^{m} du bâtiment B, l'orage s'était annoncé dès 2^{h} du matin, par des éclairs lointains; le tonnerre avait commencé à gronder vers 3^{h}, et à 4^{h} l'orage battait son plein. A 4^{h}30^{m}, le gardien a entendu un coup de tonnerre formidable auquel a succédé immédiatement une détonation unique.

L'explosion a complètement détruit les trois locaux et mis hors de service la majeure partie du matériel qu'ils contenaient; en outre, des arbres du voisinage furent brisés ou écorcés, des branches furent hachées et le feuillage roussi.

Un acacia de 15^{m} de hauteur, situé à 4^{m} environ du bâtiment de la presse, avait une de ses trois branches terminales écorcée. Le tronc était complètement dépouillé de son écorce depuis la naissance des premières branches jusqu'au sol. Dans cette partie dénudée, et du côté opposé au bâtiment B, l'aubier était légèrement fissuré à partir du sol, sur une longueur de 1^{m},50 environ; en un point de cette fissure se remarquait un arrachement des fibres dirigé de haut en bas. Ces particularités portent à croire que la foudre a d'abord frappé cet acacia et s'est de là dérivée partiellement vers les masses métalliques avoisinantes, savoir : la charpente en fer F, le câble de transmission vers l'atelier B, la

Digitized by Google

couverture en tôle de cet atelier, les pompes et la presse qui y étaient contenues.

Cette hypothèse explique d'une manière sátisfaisante l'explosion de l'atelier B; mais il reste à savoir comment les ateliers C et A ont pu être atteints. Les transmissions de mouvement de B en C et de E en A comprenant, entre autres organes, des courroies en coton relativement longues et bien protégées contre la pluie, il ne semble pas que la foudre ait pu se propager par ces voies. D'un autre côté, il ne paraît pas non plus que les gaz de l'explosion en B aient enflammé la poudre contenue en C et D; en effet, l'atelier B est adossé à un merlon M couvert d'herbes et d'arbrisseaux sur lesquels on n'a pas constaté de traces de feu, alors qu'on en a relevé de très importantes en avant de l'atelier B et dans la direction de la charpente F. Enfin, il est encore moins possible, vu l'éloignement des locaux A et B, que l'explosion de la poudre dans celui-ci ait déterminé l'explosion de l'atelier A.

Il est donc permis de supposer que les bâtiments C et A ont été le siège de phénomènes d'induction assez intenses pour provoquer de légères étincelles, ou encore qu'ils ont été frappés, en même temps que B, par une décharge qui se serait divisée en trois parties. Cette dernière hypothèse est loin d'être invraisemblable. « On a vu, écrit Daguin (1), l'éclair se bifurquer et même se trifurquer, en approchant du sol. » Le cas a été observé, notamment, lors du coup de foudre qui, en juillet 1893, a détruit les ateliers extrêmes de la poudrerie de Châtelet en respectant les locaux intermédiaires : là, d'après un témoin oculaire, les ateliers foudroyés ont été frappés simultanément par deux traits de foudre distincts.

Sans insister sur ces considérations, relatives à des phénomènes imparfaitement connus, il n'en résulte pas moins de l'explosion de Clermont et de l'explosion de Châtelet que nous venons de rappeler, que les arbres élevés ne préservent pas toujours de la foudre les constructions qu'ils avoisinent. Il serait donc prudent d'exiger que, en toute circonstance, les locaux dangereux des poudreries (c'est-à-dire ceux qui contiennent ou peuvent contenir

(1) *Traité élémentaire de Physique*, 4e édition, t. III, p. 245.

Digitized by Google

des matières explosibles) fussent pourvus de paratonnerres établis d'après les vues les plus récentes de la science électrique. Cette obligation est d'autant plus impérieuse que, à Clermont, la poudrerie est située dans un vallon entièrement boisé et qui passait pour n'être jamais visité par la foudre.

Digitized by Google

DE LA

CORRÉLATION ENTRE LA COMPOSITION DES ACIDES

EMPLOYÉS A LA

NITRIFICATION DE LA CELLULOSE

ET LES

PROPRIÉTÉS DES COTONS-POUDRES PRODUITS;

PAR

M. le Colonel d'artillerie russe KISNIEMSKY,

Président de la Commission d'expériences de la poudrerie d'Okhta (Russie).

TRADUCTION

Par M. P. GRAVIER,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

Dans le tome VIII du *Mémorial des poudres et salpêtres* est inséré un article de M. Bruley, relatif à la fabrication de la nitrocellulose.

Les recherches de M. Bruley sont constituées par trois séries d'expériences effectuées à la poudrerie d'Angoulême; ces expériences, relatives à la nitrification de la cellulose, reposent sur des variations systématiques de la composition des acides; dans chaque série, les échantillons de coton-poudre qui ont été préparés sont au nombre de 25.

Dans toutes les expériences on s'est servi d'acide azotique débarrassé de vapeurs nitreuses. Dans chaque expérience le poids de cellulose employée était de 4^{gr} et la nitrification s'effectuait dans 400^{gr} de mélange d'acides. Pour la préparation des mélanges d'acides, on s'est servi d'eau distillée.

En examinant séparément *la première série d'expériences,*

Digitized by Google

on voit que dans cette série on a soumis à la nitrification de la ouate chimiquement pure (ouate hydrophile).

La deuxième série d'expériences diffère de la précédente en ce qu'on a employé, au lieu de la ouate, des déchets de coton, triés et cardés avec une attention toute particulière et complètement dégraissés.

Pour la *troisième série d'expériences* on s'est servi des déchets de coton employés dans la fabrication courante du coton-poudre.

Dans les deux premières séries, les 4^{gr} de cellulose se nitrifiaient pendant toute la durée (vingt-quatre heures) du trempage dans les 400^{gr} de mélange d'acides; mais dans la troisième, ce même poids était immergé dans les acides pendant huit minutes seulement; ensuite, le coton était retiré du bain et légèrement pressé. La nitrification se continuait en présence des acides restant dans le coton après compression.

L'étude de M. Bruley présente un grand intérêt pour les artilleurs en général, plus particulièrement pour ceux qui s'occupent d'explosifs; nous n'en publierons pas le contenu et nous utiliserons seulement les résultats des expériences faites à Angoulême et insérées dans l'article dont il a été fait mention; en nous appuyant sur ces résultats, nous exposerons notre manière d'envisager la nitrification de la cellulose.

Les compositions des acides employés dans les expériences d'Angoulême peuvent, selon nous, être rendues approximativement par des formules chimiques de la forme suivante :

$$1\,N^2O^5H^2O + a\,SO^3H^2O + b\,H^2O.$$

Suivant ces indications, la somme des proportions d'acides monohydratés est égale à

$$1 + a.$$

Désignons par μ la différence entre les proportions d'acides monohydratés et la proportion d'eau, c'est-à-dire

$$(1 + a) - b = \mu.$$

μ est appelé la *caractéristique du mélange d'acides* (1).

(1) Plus loin nous montrons que la quantité μ mérite bien cette appellation de caractéristique du mélange d'acides.

Digitized by Google

Dans les Tableaux cités ci-dessous, les valeurs de μ, pour tous les mélanges d'acides considérés, sont indiquées dans la dernière colonne verticale (1).

TABLEAU I.

NUMÉROS des expériences.	COMPOSITION DES MÉLANGES D'ACIDES.	COTONS-POUDRES.		μ.
		Taux d'azote N^2O^5.	Solubilité pour 100.	
		cc		
1	$1\,N^2O^5H^2O + 2,1\,SO^3H^2O + 3,4\,H^2O$	203,8	46,5	— 0,3
2	1 » 2,6 » 3,5	211,0	2,1	— 0,1
3	1 » 3,2 » 3,3	211,6	1,5	+ 0,9
4	1 » 6,6 » 5,1	209,2	4,2	+ 2,5
5	1 » 13,3 » 11,6	183,8	16,1	— 2,7
6	1 » 13,7 » 18,1	179,2	94,8	— 3,4
7	1 » 6,8 » 8,6	199,2	66,6	— 0,8
8	1 » 6,6 » 12,3	//	//	— 4,7
9	1 » 4,3 » 5,6	206,8	9,5	— 0,3
10	1 » 3,3 » 5,4	193,4	97,6	— 1,1
11	1 » 2,2 » 4,6	179,2	95,6	— 1,4
12	1 » 2,6 » 4,9	187,0	96,0	— 1,3
13	1 » 4,4 » 8,2	174,2	94,9	— 2,8
14	1 » 3,2 » 6,5	170,4	96,9	— 2,3
15	1 » 2,6 » 6,1	157,6	85,6	— 2,5
16	1 » 2,2 » 4,1	195,2	98,8	— 0,9
17	1 » 2,7 » 4,3	201,8	94,2	— 0,6
18	1 » 2,7 » 5,7	174,8	96,5	— 2,0
19	1 » 3,3 » 4,4	207,6	3,6	— 0,1
20	1 » 3,3 » 6,2	184,0	91,6	— 1,9
21	1 » 4,4 » 4,6	210,8	1,5	+ 0,8
22	1 » 4,4 » 6,8	195,6	94,0	— 1,4
23	1 » 6,5 » 6,9	209,8	2,7	+ 0,6
24	1 » 6,6 » 10,4	180,8	97,1	— 2,8
25	1 » 8,6 » 8,8	207,8	5,5	+ 0,8

(1) Dans l'article de M. Bruley, les résultats de la nitrification de la cellulose sont indiqués après six, douze et vingt-quatre heures de réaction.

Digitized by Google

TABLEAU II.

NUMÉROS des expériences.	COMPOSITION DES MÉLANGES D'ACIDES.	COTONS-POUDRES.		μ.
		Taux d'azote N^2O^5.	Solubilité pour 100.	
		cc		
1	$1N^2O^5H^2O + 2,3SO^3H^2O + 4,6H^2O$	194,2	97,2	— 0,7
2	1 » 2,8 » 3,6	205,0	7,7	— 0,2
3	1 » 3,5 » 3,6	211,0	1,2	+ 0,9
4	1 » 7,0 » 5,3	208,8	1,7	+ 2,7
5	1 » 14,0 » 10,0	141,0	18,5	+ 5,0
6	1 » 14,6 » 18,5	129,9	54,7	— 2,9
7	1 » 7,2 » 8,9	193,2	92,0	— 0,7
8	1 » 7,0 » 13,0	"	"	— 5,0
9	1 » 4,6 » 5,9	200,4	80,4	— 0,3
10	1 » 3,5 » 5,8	187,4	96,5	— 1,3
11	1 » 2,3 » 5,1	166,8	92,3	— 1,8
12	1 » 2,8 » 5,3	178,2	94,1	— 1,5
13	1 » 4,7 » 8,8	154,6	41,2	— 3,1
14	1 » 3,5 » 7,2	148,2	25,4	— 2,7
15	1 » 2,8 » 6,8	141,2	2,9	— 3,0
16	1 » 2,4 » 4,6	178,6	97,2	— 1,2
17	1 » 2,8 » 4,8	190,6	98,4	— 1,0
18	1 » 2,9 » 6,2	155,2	24,1	— 2,3
19	1 » 3,5 » 4,8	199,6	81,9	— 0,3
20	1 » 3,6 » 6,8	170,8	93,2	— 2,2
21	1 » 4,7 » 4,8	210,0	3,9	+ 0,9
22	1 » 4,7 » 7,4	187,4	96,2	— 1,7
23	1 » 7,0 » 7,1	207,8	7.0	+ 0,9
24	1 » 7,1 » 10,9	169,6	96,5	— 2,8
25	1 » 9,2 » 8,9	198,6	11,0	— 1,3

Note : Les résultats de la troisième série des expériences faites à Angoulême seront indiqués plus loin.

La considération générale des résultats relevés dans ces deux Tableaux conduit aux conclusions suivantes :

1° $\mu > 0$. — Les cotons-poudres obtenus avec μ positif sont peu solubles dans le mélange d'alcool et d'éther (1).

(1) Dans cet exposé, nous entendons toujours par le terme *solubilité du coton-poudre* sa solubilité dans le mélange d'alcool et d'éther.

Digitized by Google

2° $\mu < o$. — Les cotons-poudres obtenus avec $\mu < o$ sont très solubles.

3° $\mu = o$. — Les cotons-poudres obtenus avec $\mu = o$ possèdent des solubilités très variables.

Faisons un choix dans ces deux Tableaux I et II pour rechercher uniquement les quantités μ telles que les échantillons de coton-poudre correspondants, tout en étant peu solubles, possèdent un taux d'azote élevé.

TABLEAU III.

Échantillons des cotons-poudres à taux d'azote élevé et à faible solubilité.

NUMÉROS		COMPOSITION DES MÉLANGES D'ACIDES.	COTONS-POUDRES.		μ.
des séries.	des expériences.		Taux d'azote N^2O^3.	Solubilité pour 100.	
			cc		
	2	$1\,N^2O^3H^2O + 2,6\,SO^3H^2O + 3,5\,H^2O$	211,0	2,1	+ 0,1
	3	1 » 3,2 » 3,3 »	211,6	1,5	+ 0,9
I.....	4	1 » 6,6 » 5,1 »	209,2	4,2	+ 2,5
	21	1 » 4,4 » 4,6 »	210,8	1,5	+ 0,8
	23	1 » 6,5 » 6,9 »	209,8	2,7	+ 0,6
	3	1 » 3,5 » 3,6 »	211,0	1,2	+ 0,9
II.....	4	1 » 7,0 » 5,3 »	208,8	1,7	+ 2,7
	21	1 » 4,7 » 4,8 »	210,0	3,9	+ 0,9

Dans ce Tableau, on ne trouve que des échantillons de cotons-poudres préparés avec des mélanges d'acides dont la caractéristique μ est comprise entre

$$+ 0,6 \quad \text{et} \quad + 2,7,$$

à l'exception de l'échantillon de l'expérience n° 2 (série n° 1) dont la caractéristique est voisine de zéro.

Si nous choisissons, dans les résultats des expériences faites à Angoulême, les échantillons de cotons-poudres qui possèdent, tout

Digitized by Google

en étant solubles, un taux d'azote élevé, nous obtenons le Tableau suivant :

TABLEAU IV.

NUMÉROS		COMPOSITION DES MÉLANGES D'ACIDES.	COTONS-POUDRES.		μ.
des séries.	des expériences.		Taux d'azote N^2O^4.	Solubilité pour 100.	
			cc		
	10	$1\,N^2O^5H^2O + 3{,}3\,SO^3H^2O + 5{,}4\,H^2O$	193,4	97,6	— 1,1
I.....	16	1 » 2,2 » 4,1 »	195,2	98,8	— 0,9
	17	1 » 2,7 » 4,3 »	201,8	94,2	— 0,6
	1	1 » 2,3 » 4,0 »	194,2	97,2	— 0,7
II.....	7	1 » 7,2 » 8,9 »	194,2	92,0	— 0,7
	17	1 » 2,8 » 4,8 »	190,6	98,4	— 1,0

Dans ce Tableau, on rencontre uniquement des cotons-poudres qui ont été préparés avec des mélanges d'acides dont la caractéristique est comprise entre les limites

$$-0{,}6 \quad \text{et} \quad -1{,}1.$$

Les cotons-poudres obtenus avec les mélanges d'acides dont la caractéristique est voisine de zéro possèdent les propriétés les plus diverses; ce fait se manifeste en toute évidence dans les résultats indiqués par le Tableau suivant :

TABLEAU V.

NUMÉROS		COMPOSITION DES MÉLANGES D'ACIDES.	COTONS-POUDRES.		μ.
des séries.	des expériences.		Taux d'azote N^2O^4.	Solubilité pour 100.	
			cc		
	1	$1\,N^2O^5H^2O + 2{,}1\,SO^3H^2O + 3{,}4\,H^2O$	203.8	46,5	— 0,3
	2	1 » 2,6 » 3,5 »	211,0	2,1	+ 0,1
I.. ...	9	1 » 4,3 » 5,6 »	206,8	9,5	— 0,3
	19	1 » 3,3 » 4,4 »	207,6	3,6	— 0,1
	2	1 » 2,8 » 3,6 »	205,0	7,7	+ 0,2
II.....	9	1 » 4,6 » 5,9 »	200,4	80,4	— 0,3
	19	1 » 3,5 » 4,8 »	199,6	81,9	— 0,3

Digitized by Google

Il en résulte que pour produire un coton-poudre faiblement soluble et à taux d'azote élevé on doit satisfaire, à notre avis, à la condition nécessaire d'employer dans sa préparation des mélanges d'acides dont la caractéristique μ n'est pas voisine de zéro et ne dépasse pas $+ 2,7$. Par contre, pour obtenir un coton-poudre très soluble et possédant la plus grande teneur possible d'azote, il faut nécessairement choisir parmi les mélanges d'acides dont la caractéristique n'est pas voisine de zéro et, tout en gardant des valeurs négatives, ne dépasse 1 que d'une faible quantité.

Nous prétendons que, dans la nitrification de la cellulose plongée dans le mélange d'acides, on obtient avec μ positif des cotons-poudres à faible solubilité, tandis qu'avec μ négatif on obtient des cotons-poudres à grande solubilité.

Les résultats insérés dans le Tableau V viennent en opposition à cette assertion.

Dans les expériences n° 9 de la série I et n° 19 de cette même série, on a obtenu avec μ négatif des cotons-poudres à faible solubilité. Une singularité analogue apparaît dans les expériences n° 1 de la série I, n° 9 et n° 19 de la série II, dans lesquelles avec $\mu = -0,3$ on a obtenu des cotons-poudres à solubilité notablement réduite.

Ces anomalies et singularités apparentes s'expliquent de la manière suivante :

Examinons la succession des phénomènes qui doivent inévitablement accompagner la nitrification de la cellulose.

Le tissu cellulaire est immergé dans le mélange d'acides : la réaction au début entraîne, selon nous, un appauvrissement en acide azotique monohydraté du mélange d'acides entourant le tissu cellulaire et un accroissement de la teneur en eau de ce mélange. La diffusion des acides commence : les couches d'acides normaux, venant au contact des couches voisines constituées d'acides affaiblis par la réaction, tendent à rétablir l'homogénéité rompue de la composition du bain, mais pendant toute la durée de la réaction le mélange des acides qui ont travaillé doit toujours avoir un μ moindre que le μ du mélange d'acides qui constitue le bain entier (1).

(1) *Note du Traducteur.* — L'idée émise par le colonel Kisniemsky au sujet

Digitized by Google

Dans le phénomène de la nitrification de la cellulose, la réduction de la caractéristique du mélange d'acides ayant travaillé se reproduit à chaque nitrification de cellulose; mais cette réduction ne se répercute pas toujours sur les résultats. Par exemple, dans le mélange d'acides qui constitue tout le bain, μ est égal à $+2,5$; mais dans le milieu où s'est effectuée la réaction, μ est égal à $+2,2$; dans les résultats nous n'apercevons aucune anomalie puisque, avec $\mu = +2,5$ comme avec $\mu = +2,2$, les cotons-poudres obtenus possèdent identiquement les mêmes propriétés.

Le fait est tout à fait différent lorsque la nitrification a lieu dans des acides dont la caractéristique μ est positive et voisine de zéro.

Supposons que le mélange des acides du bain ait pour caractéristique $\mu = +0,1$; dès le début de la nitrification la caractéristique du mélange des acides diminue pendant la réaction, passe ensuite par zéro et en dernier lieu devient une quantité négative. Pendant le passage de μ de $+0,1$ à zéro, la réaction tend à produire un coton-poudre insoluble, mais dans toute la suite de la nitrification, le mélange des acides qui concourent à l'opération produit un coton-poudre soluble; si la durée de la première période de la nitrification est plus longue, et si la durée de la seconde est plus courte, on peut en déduire que les cotons-poudres

---

de l'influence de l'appauvrissement du bain de trempage dans la région où s'effectue la réaction, avait été indiquée dans mon Journal de mission relatif à la fabrication du coton-poudre à la poudrerie d'Angoulême (septembre 1895) ainsi que dans les parties de mon Journal de mission à la poudrerie d'Okhta relatives à la fabrication du coton-poudre et aux travaux exécutés au laboratoire de cet établissement (septembre 1896).

La nitrification des déchets de coton par trempage dans un bain de composition donnée était considérée comme se produisant de la manière suivante :

Lorsque la masse à nitrifier est introduite dans le bain de trempage, la réaction qui se produit immédiatement donne lieu, d'une part, à la nitrification de la partie superficielle de la masse qui se transforme en une nitrocellulose, chimiquement définie, dont la composition dépend de la nature du bain de trempage; d'autre part, à la formation, autour et à l'intérieur de cette même masse, d'un bain de trempage moins riche en acide azotique et plus riche en eau que le bain initial.

Si l'agitation n'est pas suffisante, la composition de ce bain modifié par la réaction reste sensiblement la même, et c'est dans ce nouveau bain que se produit un nouveau phénomène de nitrification, et ainsi de suite.

De sorte qu'un coton-poudre donné peut être considéré comme constitué par la réunion d'une série de nitrocelluloses différentes, dans laquelle domine une nitrocellulose principale formée dans la première période de la nitrification.

Digitized by Google

produits posséderont un taux d'azote élevé et une faible solubilité.

Les résultats des expériences du Tableau V, quelles que soient les anomalies qu'ils nous présentent, peuvent être rangés dans l'ordre suivant :

Expériences.	Taux d'azote.	Solubilité pour 100.
Série I expérience 19..	207,6	3,6
» I » 9.....	206,8	9,5
» I » 1.....	203,8	46,5
» II » 9.....	200,4	80,4
» II » 19.....	199,6	81,9

L'examen de ces échantillons de coton-poudre montre clairement qu'il se produit, avec μ voisin de zéro, à la fois une réduction du taux d'azote et une augmentation rapide, pour les derniers échantillons, de la solubilité.

Tous ces résultats s'expliquent immédiatement en faisant cette convention qu'au début la nitrification de la cellulose a lieu avec μ positif, mais qu'ensuite, et à la fin, la nitrification a lieu avec μ négatif.

Il est nécessaire de supposer que les compositions des mélanges d'acides des expériences (*Expérience* 19, *série* I) (*Expérience* 9, *série* I) (*Expérience* 1, *série* I) (*Expérience* 9, *série* II) (*Expérience* 19, *série* II) ont, d'après leur rapport avec le bain entier, non pas un faible μ négatif, mais un faible μ positif; c'est-à-dire qu'il est nécessaire de supposer que, dans ces expériences, ou bien les sommes des proportions d'acides monohydratés sont plus grandes que celles indiquées au Tableau V, ou bien les proportions d'eau sont moindres que celles citées dans ce même Tableau.

A la suite de cet exposé, nous nous sommes posé la question suivante :

Quel coton-poudre répondra à la composition d'acides définie par $\mu = 0$?

Les résultats des expériences faites à Angoulême ne nous donnent pas les éléments suffisants pour répondre à cette question, aussi éludons-nous nous-même son examen.

En tous cas, on peut affirmer que la condition de continuité de $\mu = 0$ pendant tout le temps de la nitrification est impossible non seulement à remplir, mais même à réaliser.

Digitized by Google

Nous avons examiné les conditions dans lesquelles se produisent les cotons-poudres à faible solubilité et à taux d'azote élevé. Il est possible de formuler ces conditions de la manière suivante :

Pour produire un coton-poudre à faible solubilité et à taux d'azote élevé, il est nécessaire de conduire la nitrification de la cellulose de telle manière que, pendant toute la durée de la réaction, μ soit une quantité positive qui ne dépasse pas $+ 2,7$ (1).

La condition indiquée ci-dessus pour la production de cotons-poudres satisfaisants de faible solubilité est une condition nécessaire, mais non suffisante.

Les résultats des expériences insérées dans le Tableau VI donnent les éléments nécessaires pour mettre en évidence la seconde condition, qu'il est aussi nécessaire d'observer que la première condition dans la nitrification de la cellulose, pour obtenir un coton-poudre satisfaisant de faible solubilité.

TABLEAU VI.

NUMEROS		COMPOSITION DES MÉLANGES D'ACIDES.	COTONS-POUDRES.		μ.
des séries	des expériences		Taux d'azote N^2O^5.	Solubilité pour 100.	
			cc		
I.....	25	1 $N^2O^5H^2O + 8,6$ $SO^3H^2O + 8,8$ H^2O	207,8	5,5	+ 0,8
II. ...	23	1 » 7,7 » 7,1 »	207,8	7,7	+ 0,9
II.....	25	1 » 9,2 » 8,9 »	198,6	11,0	+ 1,3
I.....	5	1 » 13,3 » 11,9 »	183.6	16,1	+ 2,7

Tous les mélanges d'acides cités dans ce Tableau satisfont à la première condition indiquée pour la production d'un coton-poudre à faible solubilité et à taux d'azote élevé; en réalité, on reconnaît par ce Tableau que, au fur et à mesure de l'appauvrissement des proportions d'acide azotique monohydraté contenu dans les mélanges d'acides, on obtient des cotons-poudres dans lesquels le

(1) Dans les expériences d'Angoulême, tous les mélanges d'acides ont une caractéristique μ qui ne dépasse pas $+2,7$, à l'exception de l'expérience n° 5 de la série II pour laquelle $\mu = + 5$.

Peut-être est-il possible d'obtenir des échantillons satisfaisants de cotons-poudres à faible solubilité, même avec $\mu > + 2,7$; à cet égard, une lacune subsiste pour nos recherches.

Digitized by Google

taux d'azote descend graduellement et la solubilité augmente.

Les expériences, quoique en nombre insuffisant, permettent cependant de tirer la conclusion suivante : Lorsque la proportion d'acide azotique monohydraté du mélange d'acides devient inférieure à une limite de 12 à 12,5 pour 100, les cotons-poudres obtenus possèdent un taux d'azote qui va en décroissant et une solubilité croissante.

De ces exemples on déduit que, pour produire des cotons-poudres à faible solubilité et à taux d'azote élevé, il faut et il suffit d'observer, dans la préparation des mélanges acides, les conditions suivantes :

1° La caractéristique du mélange d'acides doit être une quantité positive.

2° Cette caractéristique ne doit pas surpasser une certaine limite; en l'absence de données admises, cette limite est égale à + 2,7.

3° La proportion d'acide azotique monohydraté renfermé dans le mélange d'acides ne doit jamais être inférieure à 12 ou 12,5 pour 100.

Il nous reste à examiner le groupe des expériences qui ont été préparées avec des mélanges d'acides dont la caractéristique est inférieure à — 1.

Nous avons déjà dit que, pour obtenir des cotons-poudres à forte solubilité et à taux d'azote élevé, il est nécessaire de prendre des mélanges d'acides tels que leur caractéristique μ soit renfermée entre les limites 0 et — 1. Lorsque μ est compris dans ces limites, les cotons-poudres obtenus présentent la plus grande régularité au point de vue du taux d'azote comme au point de vue de la solubilité. Avec des valeurs de μ inférieures à — 1 et comprises entre — 1,0 et — 2,0 (1), on observe, dans les cotons-poudres obtenus, une décroissance générale du taux d'azote et une certaine diminution de la solubilité. La variation des propriétés des cotons-poudres s'accentue.

(1) Toutes les limites dont il est parlé dans ces recherches sont fixées conventionnellement, ainsi que cela se passe dans toute classification. Une seule limite est absolue, $\mu = 0$, qui sépare les cotons-poudres en solubles et en insolubles.

Digitized by Google

TABLEAU VII.

Cotons-poudres obtenus par trempage dans des mélanges d'acides dont la caractéristique μ *varie entre* — 1,0 *et* — 2,0.

NUMÉROS des séries.	NUMÉROS des expériences.	COMPOSITION DES MÉLANGES D'ACIDES.	COTONS-POUDRES. Taux d'azote N^2O^4.	COTONS-POUDRES. Solubilité pour 100.	μ.
			cc		
I.....	11	1 $N^2O^5H^2O$ + 2,2 SO^3H^2O + 4,6 H^2O	179,2	95,6	— 1,4
	12	1 » 2,6 » 4,9 »	187,0	96,0	— 1,3
	18	1 » 2,7 » 5,7 »	174,8	96,5	— 2,0
	20	1 » 3,3 » 6,2 »	184,0	97,6	— 1,9
	22	1 » 4,4 » 6,8 »	195,6	94,0	— 1,4
II.....	10	1 » 3,5 » 5,8 »	187,4	96,5	— 1,3
	11	1 » 2,3 » 5,1 »	166,8	92,3	— 1,8
	12	1 » 2,8 » 5,3 »	178,2	94,1	— 1,5
	16	1 » 2,4 » 4,6 »	178,6	97,2	— 1,2
	22	1 » 4,7 » 7,4 »	187,4	96,2	— 1,7

Lorsque la caractéristique des mélanges d'acides tombe au-dessous de — 2,0, les produits nitrés obtenus, ou ne peuvent être utilisés que difficilement, ou même ne sont pas susceptibles d'emploi au point de vue pratique de la fabrication de la poudre.

Les résultats des expériences d'Angoulême, insérées dans le Tableau ci-après, confirment cette assertion.

TABLEAU VIII.

Échantillons de cotons-poudres préparés avec des mélanges d'acides dont la caractéristique μ *est inférieure à* — 2,0.

NUMÉROS des séries.	NUMÉROS des expériences.	COMPOSITION DES MÉLANGES D'ACIDES.	COTONS-POUDRES. Taux d'azote N^2O^4.	COTONS-POUDRES. Solubilité pour 100.	μ.
			cc		
I.....	6	1 $N^2O^5H^2O$ + 13,7 $S^2O^3H^2O$ + 18,1 H^2O	179,2	94,8	— 3,4
	13	1 » 4,4 » 8,2 »	174,2	94,9	— 2,8
	14	1 » 3,2 » 6,5 «	170,4	96,9	— 2,3
	15	1 » 2,6 » 6,1 »	157,6	85,6	— 2,5
	24	1 » 6,6 » 10,4 »	180,0	97,1	— 2,8
II.....	6	1 » 14,6 » 18,5 »	129,9	54,7	— 2,9
	13	1 » 4,7 » 8,8 »	154,6	41,2	— 3,1
	14	1 » 3,5 » 7,2 »	148,2	25,4	— 2,7
	15	1 » 2,8 » 6,8 »	141,2	2,9	— 3,0
	18	1 » 2,9 » 6,2 »	155,2	24,1	— 2,3
	20	1 » 3,6 » 6,8 »	170,8	93,2	— 2,2
	24	1 » 7,1 » 10,9 »	169,6	96,5	— 2,8

Digitized by Google

Dans ce Tableau il faut remarquer la différence notable entre les résultats de la première et de la deuxième série d'expériences.

Rappelons que les expériences de la première série furent faites en employant de la ouate chimiquement pure, mais que, dans la seconde série, on se servit de déchets de coton dégraissés; quoique ces déchets, ainsi que le dit M. Bruley, aient été soigneusement triés et cardés, en aucun cas ils ne présentent la même facilité que la ouate à la pénétration par les acides.

Si l'on emploie à la préparation des cotons-poudres des mélanges d'acides dont la caractéristique est moins éloignée de zéro, l'influence de la facilité à la pénétration de la cellulose se répercute moins sur les propriétés des cotons-poudres obtenus; mais cette influence est néanmoins visible.

Les résultats des expériences du Tableau VIII montrent que, dans le cas où μ prend des valeurs négatives notablement éloignées de zéro, les plus mauvais résultats sont obtenus dans les expériences pour lesquelles le mélange d'acides renferme les proportions les plus faibles d'acide sulfurique monohydraté. Dans ces conditions, la diffusion des acides se fait difficilement et la nitrification de la cellulose est toujours plus ou moins incomplète; la nitrification des échantillons de cotons-poudres obtenus n'est pas tout à fait terminée.

Dans la première série d'expériences, l'expérience n° **15** présente le résultat le plus défectueux. Cette expérience a été faite avec le mélange d'acides le plus faible, dans cette série, comme teneur en acide sulfurique monohydraté.

Dans la deuxième série d'expériences, avec la proportion la plus faible d'acide sulfurique monohydraté, la solubilité tombe jusqu'à 2,9 (*Expérience* n° **15**).

Jusqu'ici nous nous sommes occupé des résultats des deux premières séries d'expériences, dans lesquelles la nitrification de la cellulose est produite dans une quantité d'acides telle que la composition du mélange peut être considérée comme invariable pendant tout le temps de la nitrification.

L'analyse des résultats de ces expériences montre qu'il se produit, même avec cette condition de nitrification, une modification dans la composition des acides pendant la réaction; mais, en gé-

Digitized by Google

néral, cette modification n'influe pas sur les résultats. Dans ces conditions, c'est seulement lorsque la caractéristique du mélange d'acides possède une valeur positive et peu différente de zéro, qu'une variation faible dans la composition peut se répercuter d'une façon sensible sur les résultats.

Les expériences de la troisième série furent faites avec de grandes quantités d'acides comparativement au poids des déchets de coton, mais la durée d'immersion était seulement de huit minutes ; après quoi, les déchets étaient sortis du bain, légèrement pressés, et la nitrification s'achevait dans les acides restant dans les déchets après compression.

Il est clair qu'avec de semblables conditions, pendant la dernière période de la nitrification, c'est-à-dire après compression, la composition des acides subit un notable changement.

Nous déduirons, de l'ensemble des résultats des recherches présentes, l'énoncé des conclusions les plus essentielles à tirer des résultats qui peuvent être obtenus dans la nitrification des déchets avec les conditions de la troisième série d'expériences.

1° A des valeurs positives de μ peu éloignées de zéro doivent correspondre des échantillons de coton-poudre à solubilité élevée.

2° Avec des caractéristiques positives et notablement éloignées de zéro, on peut obtenir des échantillons de coton-poudre dont le taux d'azote diminue suivant l'importance de l'appauvrissement du mélange en acide azotique monohydraté.

3° Pour obtenir des cotons-poudres à forte solubilité, il n'est pas possible de réduire la caractéristique des compositions d'acides à $\mu = -1$. En effet, pendant la nitrification dans les acides laissés après compression, la caractéristique des acides employés à la nitrification prend des valeurs considérables (en valeur absolue); dans ce cas, peut-être même n'est-il pas possible que la caractéristique puisse s'écarter, en valeur négative, au delà de $-0,4$ (car avec $\mu = -0,5$ il est possible que l'on obtienne des cotons-poudres de propriétés non satisfaisantes, ce qui est apparent avec l'échantillon n° 11).

La règle qu'il convient d'adopter pour la fabrication des cotons-poudres à grande solubilité est que les compositions primitives

Digitized by Google

des mélanges d'acides doivent avoir des caractéristiques négatives et le plus rapprochées possibles de zéro.

Il est à remarquer que, avec notre interprétation de la troisième série d'expériences, les écarts entre les résultats de quelques-unes de celles-ci et les résultats des compositions de mélanges d'acides employées en premier lieu sont devenus tout à fait compréhensibles.

Dans le Tableau suivant sont indiquées les expériences dont il vient d'être fait mention.

TABLEAU IX. — SÉRIE III.

NUMÉROS des expériences.	COMPOSITION DES MÉLANGES D'ACIDES.	COTONS-POUDRES.		μ.
		Taux d'azote N^2O^5.	Solubilité pour 100.	
		cc		
1	1 $N^2O^5H^2O$ + 2,3 $S^2O^3H^2O$ + 3,7 H^2O	197,2	97,3	— 0,4
2	1 » 2,8 » 3,7	205,8	52,9	+ 0,1
3	1 » 3,5 » 3,5	209,6	2,4	+ 1,0
4	1 » 7,0 » 5,0	205,2	2,5	+ 3,0
5	1 » 14,2 » 8,5	134,0	14,2	+ 6,7
6	1 » 13,6 » 14,8	147,8	21,9	— 0,2
7	1 » 7,1 » 8,1	182,0	90,9	0
8	1 » 7,3 » 13,2	//	//	— 4,9
9	1 » 4,5 » 5,3	196,2	97,2	+ 0,2
10	1 » 3,4 » 5,5	186,2	95,8	— 1,1
11	1 » 3,3 » 4,8	172,6	95,3	— 0,5
12	1 » 2,7 » 5,2	177,0	96,4	— 1,5
13	1 » 4,7 » 8,5	157,2	66,1	— 2,8
14	1 » 3,5 » 7,1	146,8	10,8	— 2,6
15	1 » 2,7 » 6,7	142,8	1,9	— 3,0
16	1 » 2,4 » 4,5	178,2	91,6	— 1,1
17	1 » 2,8 » 4,4	186,2	97,8	— 0,6
18	1 » 2,8 » 5,9	152,8	21,8	— 2,1
19	1 » 3,5 » 4,6	199,8	91,3	— 0,1
20	1 » 3,5 » 6,4	164,7	80,8	— 1,9
21	1 » 4,6 » 4,6	208,8	3,3	+ 1,0
22	1 » 4,6 » 7,1	180,2	95,7	— 1,5
23	1 » 7,0 » 7,0	201,6	21,9	+ 1,0
24	1 » 7,1 » 10,5	162,6	77,4	— 2,4
25	1 » 9,3 » 8,9	187,0	6,2	— 1,4

Nous sommes loin de penser que la corrélation que nous avons

Digitized by Google

remarquée entre les compositions des acides servant à la nitrification du coton-poudre et les propriétés des cotons-poudres obtenus puisse immédiatement être appliquée à toutes les caractéristiques de la fabrication en grand du coton-poudre. Mais nous croyons que notre travail aidera à analyser ce qui se passe en pratique, pour pouvoir comprendre les phénomènes de toutes les phases de la nitrification des déchets de coton.

Comme les expériences faites à Angoulême ont porté sur des compositions d'acides très diverses, comme les résultats de toutes ces expériences, selon notre interprétation, se présentent en Tableaux bien ordonnés et d'un examen facile, nous prenons sur nous la hardiesse de supposer que, si même des recherches ultérieures sur les questions relatives aux phénomènes de la nitrification de la cellulose troublaient la généralité de nos déductions, notre travail n'en garderait pas moins une partie de son importance : il servirait alors comme élément de constitution de lois véritables de la nitrification du coton-poudre.

Digitized by Google

SUR LA RÉSISTANCE

ET LE

MODE DE CONSTRUCTION DES BOUCHES A FEU.

DÉFORMATIONS DES CANONS DANS LE VOISINAGE DE L'OBTURATEUR;

PAR MM.

GOSSOT, Lieutenant-Colonel d'artillerie de la Marine
et LIOUVILLE, Ingénieur des poudres et salpêtres.

INTRODUCTION.

Dans un travail antérieur (*Mémorial de l'Artillerie de la Marine*, 1897), nous avons établi que, pendant le tir, et malgré la rapidité avec laquelle les pressions se développent dans l'intérieur de l'âme, on peut considérer les canons, au point de vue des calculs de résistance, comme étant à chaque instant, à moins de circonstances exceptionnelles, en équilibre élastique avec les pressions qui leur sont appliquées. L'étude des conditions de construction des bouches à feu se trouvait ainsi réduite à celle d'un cas d'équilibre, et l'une des réserves auxquelles on pouvait croire soumis le mode de calcul adopté d'ordinaire se trouvait, de ce fait, légitimement éliminée.

Ce mode de calcul repose, en définitive, sur les formules de Lamé et l'on peut alors se demander, d'une part, si les données empruntées à ces formules sont bien celles qu'il convenait de choisir et, d'autre part, si les forces appliquées aux canons sont réparties en réalité comme le suppose l'emploi des formules de Lamé.

Sur le premier point, nous remarquons que, pour déterminer

Digitized by Google

les serrages à donner au corps du canon (1) et aux frettes, presque tous les constructeurs se préoccupent uniquement de limiter les tensions élastiques maxima et d'en réduire la valeur au-dessous de celles qu'on regarde comme pouvant amener des déformations permanentes. Dans ses Notes sur la théorie de l'élasticité de Clebsch, Saint-Venant a déjà signalé qu'il vaudrait mieux remplacer cette limitation par celle des dilatations maxima. Ce mode de calcul a aussi nos préférences, au moins en ce qui concerne l'étude actuelle, et en voici les motifs, différents de ceux que donnait Saint Venant. Imaginons un corps élastique, de forme arbitraire, soumis à des forces quelconques; soient x, y, z les coordonnées cartésiennes d'un de ses points, u, v, w les composantes, suivant les axes, du déplacement élastique en ce point. Les équations ordinaires de l'élasticité sont applicables tant que les déformations restent au-dessous de certaines limites. Ces limites peuvent, il est vrai, dépendre de la forme primitive du corps et des forces qui lui sont appliquées; mais il existe un certain minimum, tel que, si toutes les déformations lui sont inférieures, les équations ordinaires de l'élasticité sont exactes, quelle que soit l'hypothèse faite sur la forme primitive du corps et sur les forces agissantes.

Ce minimum étant connu, l'on pourrait, tant qu'il n'est pas atteint, employer en toute sécurité, sans distinction des divers cas, les équations ordinaires de l'élasticité, c'est-à-dire qu'on serait assuré, sous cette condition, qu'aucune déformation permanente ne se produit. A défaut de données plus complètes, on admet que ce minimum est le plus grand allongement élastique non permanent, constaté dans un cas simple, celui d'une traction appliquée à l'extrémité d'une barre prismatique, de section très petite, et la tension élastique la plus grande qui corresponde pour ce cas à la déformation est la tension limite; ou bien on admet qu'il ne cesse pas de correspondre à cette tension trouvée comme limite dans le cas du prisme. Pour des corps d'une forme diffé-

(1) Dans tout ce qui suit nous supposons la bouche à feu constituée : 1° par un *tube* intérieur fretté; 2° par un *corps* enveloppant le tube fretté, posé avec serrage sur ce dernier; 3° par une virole vissée dans le corps et portant l'écrou de culasse. C'est le type de construction adopté dans la Marine pour les modèles 1893 et 1893-1896 (Voir la figure schématique, § IV, p. 138).

Digitized by Google

rente, en équilibre sous d'autres forces, la déformation limite peut ne plus être liée à la tension limite telle qu'elle est définie, mais il est clair que les équations ordinaires de l'élasticité ne sont plus justifiées sans incertitude, si l'une ou l'autre est dépassée; on doit donc, afin d'éviter à coup sûr les déformations permanentes, adopter, dans chaque cas, celle des deux limitations qui est la plus étroite. Elle est donnée, comme on le verra dans notre problème, par les déformations et non par les tensions.

Il existe, au mode de calcul habituel reposant sur les formules de Lamé, des objections d'une autre espèce; c'est le second point que nous voulons traiter, et le sujet principal de notre travail. On sait que, dans les conditions où ces formules sont applicables, c'est la dilatation circonférentielle maximum qui est la plus grande et c'est aussi la tension correspondante qui est supérieure à toutes les autres. En d'autres termes, les canons doivent tendre à se déformer et finalement à se rompre suivant une génératrice. La théorie ordinaire paraît, sur ce point, démentie par l'expérience. Dans tous les exemples connus de rupture d'une pièce, cette rupture s'est produite au contraire par arrachement de la culasse. Il y a plus, après des tirs d'une rigueur exceptionnelle, certains canons ont présenté, sans se rompre, des déformations permanentes et l'on a pu constater encore un allongement dans le sens de l'axe, sans agrandissement du diamètre. Il faut ajouter que de légers défauts d'assemblage de la virole avec le corps, attribuables en général à un trop faible serrage, peuvent donner lieu à des chocs véritables qui pourraient expliquer quelques-uns des faits observés. Il semble néanmoins que le phénomène ordinaire est la prédominance des dilatations suivant l'axe sur les dilatations circonférentielles; comme il est contraire aux conclusions fondées sur les formules de Lamé, ou celles du général Virgile, qui s'en déduisent, il est nécessaire d'examiner s'il est permis de regarder les forces appliquées en réalité comme assez peu différentes de celles qu'exigerait la théorie. Dès 1877, le capitaine Duguet avait attiré l'attention sur des efforts dont on ne tient aucun compte dans les calculs usuels et qui seraient, selon lui, l'une des causes les plus fréquentes des ruptures transversales : ce sont les efforts de cisaillement, produits au voisinage de l'obturateur par la dissymétrie des

Digitized by Google

pressions autour de ce point. La remarque visait, d'une façon spéciale, les canons dont l'écrou de culasse est pratiqué dans le tube et l'étude de la question, faite par le capitaine Duguet, l'amenait à penser que la section méridienne du tube après déformation n'était plus composée de deux droites, mais de deux courbes infléchies de part et d'autre de l'obturateur, de manière à se raccorder avec les droites qu'indiqueraient les formules de Lamé. Pour atténuer l'importance des efforts de cisaillement, l'auteur de ces intéressantes observations conseillait d'allonger le fossé de culasse et d'adopter pour l'avenir les viroles indépendantes. La difficulté devait ainsi se reporter, en s'atténuant, sur le corps du canon et c'est effectivement ce mode de construction qui est actuellement adopté par l'artillerie de la Marine (modèles 1893 et 1893-1896). Mais l'atténuation obtenue n'empêche point qu'en substance la difficulté soit restée la même; des exigences nouvelles se sont produites, qui lui rendent un intérêt incontestable et en font désirer une solution ne laissant au constructeur aucune incertitude. L'étude du problème ainsi défini constitue le principal sujet de ce Mémoire.

On comprend qu'il serait impossible de l'aborder sans en simplifier certaines données. Mais, les simplifications faites, en tenant compte le plus possible des conditions réelles, le problème choisi est traité en toute rigueur et les résultats obtenus ont été soumis à des vérifications synthétiques, qui en font ressortir la signification précise. Au sujet des forces qui agissent dans le problème réel, nous ferons remarquer d'abord que les pressions exercées à l'état de tir, par le corps, sur le tube fretté, d'une part, et sur la virole, de l'autre, ne sont pas des quantités connues avec exactitude. Toutes les données dont on dispose se rapportent à l'état de repos : on sait quels sont les diamètres du tube fretté, de la virole et du corps lorsqu'ils sont encore séparés et à quelle température ce dernier doit être chauffé lors de sa mise en place. Ces diamètres et cette température sont tels que si l'on imaginait la virole ou le tube fretté s'étendant seuls sur toute la longueur du corps, la pression exercée par celui-ci sur la virole serait environ le tiers de celle que l'état de tir ferait naître entre le corps et le tube fretté.

On voit que les diamètres des diverses pièces et la température

Digitized by Google

de la pose sont choisis de façon à produire, entre le corps et les deux autres, des pressions différentes à l'état de repos. Ces pressions elles-mêmes ne sont pas directement connues, et sans doute ne sont pas tout à fait constantes sur la longueur de chacune des pièces. Leur valeur ne pourrait se conclure que d'une étude assez analogue à celle qui fait l'objet de ce travail; mais il est manifeste que l'erreur commise est de faible importance, quand on suppose que tout se passe, soit pour la virole, soit pour le tube fretté, comme si cette pièce et le corps étaient seuls en présence et de longueurs égales. On est ainsi conduit à supposer qu'à l'état de repos, et en désignant par ϖ la pression, par centimètre carré, qui serait appliquée à l'intérieur du tube pendant le tir, le tube fretté et la virole exercent sur le corps des pressions à peu près normales et qui sont représentées par des fractions différentes de la pression ϖ.

Pour en conclure ce qui se passe à l'état de tir, de beaucoup le plus intéressant, il faudrait, si l'on voulait traiter le problème tel qu'il est posé par la pratique, entreprendre non pas une étude d'équilibre mais une étude de mouvement, puisque toutes les données sont relatives à l'état de repos. La question serait des plus complexes à tous les points de vue, tandis qu'une simplification, en définitive fort admissible, permet d'éviter les difficultés de l'étude d'un mouvement. Il est clair, en effet, que l'on change peu le problème réel si l'on imagine que les pressions du corps, sur la virole d'une part et sur le tube fretté de l'autre, se déduisent de la pression ϖ, comme si chacune de ces pièces était placée, avec son serrage même, dans un corps de même longueur qu'elle, ce qui permettrait d'obtenir, par les formules du général Virgile, les pressions auxquelles ce corps est soumis de la part des pièces qu'il renferme. Ces pressions sont toutes deux proportionnelles à ϖ et uniformes, mais les deux rapports sont différents. Outre ces pressions dont l'une, P_0, s'exerce à la surface intérieure du corps, sur la longueur de la virole, et dont l'autre, P_1, est appliquée sur la portion restante de cette surface, nous supposerons que le corps est soumis à deux tractions F, uniformes et proportionnelles à ϖ, appliquées sur les sections planes extrêmes.

Voici comment on peut concevoir l'intervention de ces nouvelles forces. La pression exercée par les gaz sur la culasse est

Digitized by Google

transmise, par cette dernière, à la virole; celle-ci est elle-même vissée à chaud, dans la portion du corps voisine de la tranche arrière, de sorte qu'il est naturel d'admettre, en laissant de côté les questions de détail relatives aux surfaces d'appui intermédiaires, que la pression totale supportée par la culasse peut être remplacée par une traction appliquée près de l'extrémité du corps. Nous la regarderons provisoirement comme uniforme et appliquée à la tranche extrême du tube, et nous verrons plus loin comment on en peut choisir la valeur; nos formules sont d'ailleurs indépendantes de toute hypothèse sur ce choix.

S'il n'existe une traction qu'à l'une des extrémités du corps, celui-ci ne peut se mettre en équilibre et la seule étude possible paraît d'abord être celle d'un mouvement produit par les forces indiquées. Mais nous avons montré, dans un travail antérieur, déjà rappelé, que les déformations maxima réalisées dans cet état de mouvement sont, dans les circonstances ordinaires, presque exactement les mêmes que les déformations d'équilibre obtenues en imaginant que le corps est soumis, outre les pressions supportées par sa surface cylindrique, à deux tractions F, égales et opposées, appliquées à ses tranches extrêmes. Il résulte donc de cette discussion que nous pouvons, sans erreur notable, remplacer le problème réel par celui-ci : On a un tube métallique creux, homogène et de section circulaire. A ses surfaces limites sont appliquées : 1° sur une portion de sa surface cylindrique intérieure, une pression uniforme et normale P_0; 2° sur le reste, une pression de même espèce P_1, différente de P_0; 3° sur ses faces planes extrêmes, deux tractions uniformes F, égales et opposées, dirigées suivant l'axe du tube. Sur sa surface cylindrique extérieure, la pression est regardée comme négligeable. Il s'agit de trouver les déplacements élastiques, après lesquels le tube serait en équilibre sous ces diverses forces.

Soient, dans l'état naturel, r la distance d'un des points de la masse métallique à l'axe du tube; z sa distance à la section plane extrême située du côté arrière. Soient encore $2r_0$ le diamètre intérieur du tube, $2r_1$ son diamètre extérieur, $2z_0$ sa longueur totale, z_1 la longueur de la portion du tube soumise à la pression intérieure P_0. Enfin, nous supposons que les deux coefficients d'élasticité, λ et μ, sont égaux. Quand l'équilibre est établi, le point

Digitized by Google

de coordonnées r, z étant déplacé, ses coordonnées sont devenues $r+\varepsilon$, $z+w$; ε et w sont des fonctions de r et z, qu'il s'agit d'évaluer.

A cet effet, nous décomposons, selon les égalités suivantes

$$\varepsilon = \varepsilon' + \varepsilon'' + \varepsilon''', \qquad w = w' + w'' + w''',$$

le déplacement total en trois parties distinctes. L'une d'elles, ε''', w''', est donnée par des formules de Lamé. Elle correspond

1° Aux tractions F, appliquées, l'une sur la face $z = 0$, l'autre sur $z = 2z_0$;

2° A une pression nulle, sur $r = r_1$;

3° Sur $r = r_0$, à une pression uniforme $\frac{P_0 + \gamma P_1}{1+\gamma}$; la constante γ est choisie de telle manière qu'après avoir déduit ε''', w''' du déplacement cherché, celui qui reste, $\varepsilon' + \varepsilon''$, $w' + w''$, correspond

1° Sur $r = r_0$, à une pression uniforme et discontinue, dont la valeur moyenne est égale à zéro; elle est $\frac{\gamma(P_0 - P_1)}{1+\gamma}$ depuis $z = 0$ jusqu'à $z = z_1$ et $-\frac{(P_0 - P_1)}{1+\gamma}$ depuis $z = z_1$ jusqu'à $z = 2z_0$;

2° Sur $r = r_1$, $z = 0$ et $z = 2z_0$, il correspond à des forces nulles.

Pour l'obtenir, nous remarquons d'abord qu'il suffit de trouver deux solutions convenables d'une même équation linéaire, aux dérivées partielles du second ordre, qu'on peut représenter ainsi :

$$\frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial r} = 0. \tag{1}$$

Ces solutions étant connues, leurs dérivées du premier ordre font connaître ε', w', ε'', w''. Chacune de ces quantités est donnée par des séries dont les termes satisfont tous à l'équation (1) et sont donnés : par des fonctions trigonométriques de z lorsqu'il s'agit de ε', w'; par des fonctions qui ont en facteur des exponentielles e^{-hz} (1), s'il s'agit de ε'', w''.

(1) Elles contiendraient aussi e^{hz}, si $2hz_0$ n'était toujours un nombre assez grand pour que la quantité e^{-2hz_0} fût entièrement négligeable. Nous verrons plus loin, et nous supposons dès à présent qu'il en est ainsi.

Digitized by Google

ε', w' est un déplacement élastique, assujetti aux conditions suivantes :

1° Sur $r = r_0$, il correspond seul à la pression uniforme et discontinue, déjà mentionnée;

2° Sur $r = r_1$, à des forces nulles;

3° Enfin pour $z = 0$ ou $2z_0$, w' est égal à zéro.

Chaque terme des séries à l'aide desquelles s'obtiennent ε', w', remplit isolément les conditions 2° et 3° et celle de donner des pressions normales sur $r = r_0$. Ces conditions fondamentales étant ainsi satisfaites par chaque terme restent vérifiées, quel que soit le point auquel on s'arrête dans le calcul des séries, et laissent subsister dans chaque terme un facteur constant arbitraire. La première condition détermine tous ces facteurs comme les coefficients d'une série de Fourier. En ce qui concerne la variable r, les termes des séries en dépendent par des fonctions de Bessel, dont l'argument est une imaginaire pure.

D'après ce qui précède, le déplacement complémentaire ε'', w'' doit remplir les conditions suivantes :

1° Sur toutes les surfaces limites, les pressions correspondantes doivent être normales à ces surfaces;

2° Sur $r = r_0$, $r = r_1$, les pressions doivent s'évanouir;

3° Sur $z = 0$, $z = 2z_0$, elles doivent être égales et de signes contraires à celles que déterminait le déplacement ε', w'.

Il est facile d'établir que l'équation (1) admet une infinité de couples de solutions, donnant lieu à des pressions normales sur chacune des surfaces limites et définies par ces formules :

$$(2) \quad f = \mathrm{H}(hr)e^{-hz}, \qquad \mathrm{F} = \left[\left(hz - \frac{\mu}{\lambda+\mu}\right)\mathrm{H}(hr) - r\frac{d\mathrm{H}}{dr}\right]e^{-hz}.$$

$\mathrm{H}(hr)$ est une fonction de Bessel, d'indice zéro et dépendant des fonctions de première et de deuxième espèce; les constantes h sont racines d'une équation transcendante, qui peut s'écrire ainsi :

$$\left(\frac{d\mathrm{H}}{dr}\right)_{r=r_1} = 0,$$

Digitized by Google

et dont nous donnons une résolution approximative, de précision très suffisante (¹).

L'équation (1) admet encore un autre système de solutions, différant des précédentes uniquement en ce que z est remplacé par $2z_0 - z$. Si l'on construit des combinaisons linéaires, à coefficients constants, et d'ailleurs quelconques, des solutions de ces deux systèmes, relatives à une même valeur de h, il est clair que les solutions ainsi composées jouissent encore des mêmes propriétés.

Considérons maintenant la section du tube cylindrique par un demi-plan passant par l'axe; c'est un rectangle, de longueur $2z_0$ et de largeur $r_1 - r_0$. Avec les solutions construites comme il vient d'être dit, nous avons à former des séries, en choisissant l'infinité des constantes demeurées disponibles afin d'obtenir les deux intégrales de l'équation (1), desquelles résultent les expressions de ε'', w'', satisfaisant à toutes les conditions imposées sur les surfaces limites. Mais il se présente à ce sujet certaines difficultés : les relations qu'il s'agit d'exprimer ont lieu sur les côtés du rectangle indiqué, non sur leurs prolongements, et l'on ne peut assujettir les séries à des conditions que le problème n'exige pas, car la solution de celui-ci étant unique, il s'ensuivrait des équations incompatibles.

Imaginons que l'on fasse la représentation conforme du rectangle sur un demi-plan : c'est substituer aux variables r et z deux autres variables, faciles à obtenir à l'aide des fonctions elliptiques, et l'on peut faire en sorte que le périmètre du rectangle soit représenté par le bord rectiligne indéfini du demi-plan. Le long de cette droite, l'une des variables nouvelles reste égale à zéro; la seconde prend toutes les valeurs réelles, de $-\infty$ à $+\infty$. Les conditions auxquelles il fallait satisfaire s'écrivent sans peine, on le conçoit, à l'aide de cette variable illimitée; elles sont exprimées ainsi pour les côtés du rectangle, sans l'être pour leurs prolongements. Au reste, les calculs définitifs se terminent en faisant usage des seules variables r et z, celles qui traduisaient la repré-

(¹) Nous donnons dans le §V (*Calculs numériques*) une table des fonctions de première et de deuxième espèce d'indice zéro, ainsi que de leurs dérivées pour une variable imaginaire dont le module varie en progression arithmétique de 0,075 à 1,8. La raison de cette progression est 0,01875.

Digitized by Google

sentation conforme n'étant apparues que pour l'établissement des formules.

De plus, les données du problème proposé sont telles, dans la pratique, qu'elles permettent de remplacer les opérations indiquées par d'autres beaucoup plus simples. Il convient d'observer d'abord que les canons d'un même type, et en particulier ceux du modèle 1893-1896, dans la Marine française, sont à peu près semblables. On peut donc rapporter toutes les dimensions au calibre, et la question à étudier devient ainsi la même pour tous les canons d'un même modèle. Si l'on pose, pour abréger,

$$\frac{2\pi z}{r_0} = \zeta,$$

il est aisé de voir que ζ_0 est un grand nombre, et la recherche des fonctions elliptiques, donnant la représentation conforme dont nous avons besoin, montre d'abord que ces fonctions sont si voisines des fonctions circulaires qu'il est tout à fait impossible de conserver, dans les calculs, leur différence. Il en résulte que le rectangle dont il fallait avoir la représentation conforme peut être confondu avec une ligne brisée indéfinie. Comme $e^{-2\zeta_0}$ est si près d'être nul qu'on n'en peut tenir compte, on en conclut que les solutions (2) correspondent à des pressions évanouissantes pour $z = 2z_0$. De même, pour les solutions appartenant au second système et déduites des précédentes, les pressions sur $z = 0$ sont nulles. On peut donc, séparément :

1° Trouver un déplacement ε'', w'', formé par l'intermédiaire des solutions (2), donnant sur $z = 0$ des pressions égales et de signe contraire à celles qui résultent de ε', w', avec des pressions nulles partout ailleurs.

2° Trouver un autre déplacement analogue formé par l'intermédiaire des solutions déduites de (2) en substituant z à $2z_0 - z$, et donnant sur $z = 2z_0$ des pressions égales et de signe contraire à celles que donnent ε', w' sur cette surface.

Il y a plus ; les données étant celles de notre problème particulier, les calculs montrent que ces dernières pressions sont assez faibles pour ôter toute utilité pratique à l'intervention de ce nouveau déplacement. C'est donc à celui qui se déduit des solu-

Digitized by Google

tions (2) que tout se rattache en définitive et la représentation conforme est donnée par des fonctions circulaires.

Les séries ne se prêtent pas immédiatement au mode de calcul propre aux séries de Fourier, mais un artifice peu compliqué permet d'en retrouver les avantages, et nous avons ainsi réuni tous les éléments indispensables pour obtenir ε'', w'' et, par suite, ε et w.

Nous avons fait usage de certaines séries dont les coefficients sont donnés par des intégrations définies. On peut se demander si ces séries sont convergentes et surtout si le nombre assez faible de termes auxquels il est nécessaire de s'arrêter donne une approximation suffisante. De ces deux questions entièrement distinctes, c'est la dernière seule qui nous intéressait dans ce travail. Comme on ne pouvait la laisser irrésolue sans exposer les résultats à des doutes fort légitimes, nous avons dû chercher des vérifications.

Celles que nous avons choisies sont, en quelque sorte, des vérifications en bloc, c'est-à-dire qu'elles permettent d'apprécier l'ensemble des erreurs commises : 1° en négligeant tous les termes des séries de rang plus élevé que ceux dont nous nous sommes servis; 2° en calculant par approximation les intégrales définies desquelles dépendent les termes conservés.

Nous avons, en effet, considéré le déplacement élastique ε, w, tel qu'il résulte des termes employés dans nos séries, sans y rien changer, et, de ce déplacement connu d'une façon explicite, nous avons déduit les pressions correspondantes sur les surfaces limites. Nous savions à l'avance, d'après la construction même des séries, qu'elles étaient nulles sur $r = r_1$ et normales sur toutes les autres surfaces. La différence entre les pressions ainsi calculées et les données du problème atteint sur une ligne ($r = r_0$, $z = 0$) une fraction notable, environ 12 pour 100 de la différence $P_1 - P_0$. Il faut sans doute expliquer ce résultat en disant que tout se passe sur cette ligne comme s'il s'y présentait, non pas un angle vif, mais un très petit arrondi, ce qui est d'ailleurs en parfaite concordance avec la réalité. Une autre erreur sans importance se montre pour $z = z_1$, la discontinuité mathématique des pressions en ce point ne pouvant être représentée par un nombre limité de termes des séries; mais, de part et d'autre de cette valeur de z,

Digitized by Google

l'erreur devient rapidement négligeable. En moyenne, elle n'atteint pas 5 pour 100 de la différence $P_1 - P_0$.

On voit que le problème dont nos formules donnent la solution rigoureuse est assez voisin de celui qu'il s'agissait de résoudre pour être, au point de vue pratique, absolument confondu avec lui.

On remarquera sans doute combien le déplacement ε'', w'' intervient peu dans tous les calculs qui touchent aux points intéressants de la question. Son rôle se borne à compenser, sur la face $z = 0$, les pressions qui correspondaient au seul déplacement ε', w' et qui ne doivent point exister. Cela signifie, en d'autres termes, que les perturbations produites au voisinage de $z = z_1$, par l'inégalité des pressions P_0, P_1, disparaissent rapidement dès qu'on s'éloigne de ce point. C'est bien ce que l'on pouvait attendre, d'après les idées ordinairement admises au sujet des déformations élastiques, et l'on sera tenté de penser que les recherches concernant ce déplacement complémentaire étaient d'une faible utilité. Nous croyons, au contraire, que, pour parvenir à des conclusions dignes de confiance, le calcul direct de ce déplacement était indispensable. Rien, en effet, ne saurait lui être substitué pour indiquer, avec certitude, ce qui est vraiment négligeable, eu égard aux données pratiques du problème.

Comme, sur les surfaces limites, et notamment sur $r = r_0$, les forces tangentielles sont nulles, les dilatations principales y sont toujours données par $\frac{\partial \varepsilon}{\partial r}$, $\frac{\varepsilon}{r}$, $\frac{\partial w}{\partial z}$; de plus, la rotation moyenne y est exprimée par $2\frac{\partial \varepsilon}{\partial z}$. Nous avons calculé ces diverses quantités pour les points les plus intéressants du cylindre $r = r_0$.

Nous avons constaté d'abord que $\frac{\partial \varepsilon}{\partial z}$ passe par un maximum pour une valeur de z voisine de $1,1\,z_1$. Ce maximum correspond, à très peu près, au point d'inflexion de la courbe en laquelle s'est transformée la droite $r = r_0$, quand l'équilibre est établi, puisque w est toujours très petit par rapport à z. Il est situé, comme l'on voit, en avant de la virole et à une distance de son extrémité presque égale au $\frac{1}{10}$ de la longueur de cette virole. Le produit du coefficient d'élasticité, E, par la rotation moyenne est à peu près égal à $0,4168(P_0 - P_1)$.

Digitized by Google

Au reste, cet élément n'intervient pas, au moins sur les sufaces limites, dans le calcul des dilatations principales. Nous n'avons pas évalué ces dernières non plus que la rotation moyenne pour des points situés à l'intérieur de la masse métallique, mais nos formules sont toutes préparées pour cette évaluation et en donnent tous les éléments. Personne ne doutera, d'ailleurs, que la rotation moyenne soit encore plus petite, à l'intérieur de la masse métallique, que sur la surface intérieure $r = r_0$. C'est cette quantité que le capitaine Duguet avait proposé de modifier par l'allongement du fossé de culasse. Il est difficile de prévoir quelle eût été l'importance de la modification réalisée en ce qui concerne l'élément dont il s'agit, mais on n'aperçoit aucun motif pour que les dilatations principales fussent, de ce fait, influencées dans un sens favorable. Il n'en est pas de même des changements qui touchent à $P_0 - P_1$, parce qu'ils atteignent aussi les dilatations principales, et c'est un changement de cette nature qui résulte de l'adoption des viroles indépendantes.

La discussion des formules obtenues montre que la dilatation circonférentielle, $\frac{\varepsilon}{r}$, diminue à partir du point z_1, lorsqu'on examine des points de plus en plus voisins de la culasse, tandis que la dilatation longitudinale, $\frac{\partial w}{\partial z}$, augmente sans cesse. On sait que ces deux quantités demeureraient constantes si les formules de Lamé étaient applicables. Nous avons fait observer déjà que la dilatation longitudinale est la plus à craindre, parce que les ruptures de canons, produites par séparation de la culasse, sont les plus dangereuses pour le personnel. A ce point de vue, et quelle que soit l'hypothèse faite sur la traction F, il y a intérêt à augmenter le plus possible la valeur de P_0, c'est-à-dire le serrage de la virole (mais on ne peut guère en pratique dépasser $0,1\varpi$), et à diminuer P_1 jusqu'à la rendre égale à P_0, ce qui est à peu près la plus petite valeur acceptable pour les canons du type usité en France.

Il résulte de nos formules que la dilatation circonférentielle maximum surpasse la plus grande dilatation longitudinale, quand l'inégalité suivante

$$1,850\,P_1 + 0,752\,P_0 > F$$

est vérifiée. Pour la discuter d'une façon complète il faut déter-

Digitized by Google

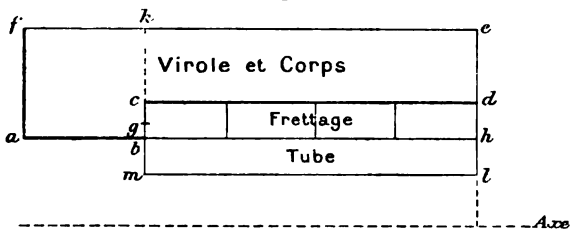
miner la valeur de F. On admet en général que tout se passe comme si la pression totale exercée sur la culasse était transmise par elle à la tranche du corps et répartie uniformément sur cette dernière. Cela étant, et d'après les proportions des canons actuels de la marine, on est conduit à prendre $F = 0,2\,\varpi$. L'inégalité est alors toujours vérifiée dans les conditions ordinaires, car $P_0 = 0,1\,\varpi$, $P_1 = 0,2\,\varpi$ et l'inégalité, satisfaite déjà pour $P_1 = P_0$, l'est *a fortiori* pour les valeurs plus grandes de P_1. Sous le bénéfice de ces hypothèses, on voit que le calcul des résistances, fait en limitant $\frac{\varepsilon}{r}$, ou bien la tension correspondante, est justifié.

Mais la valeur ainsi choisie pour F est contestable; c'est sans doute, au moins pour les parties les plus fatiguées du corps, une valeur beaucoup trop faible, car l'effort total produit sur la culasse n'est pas réparti sur la section du corps, et la valeur du rapport $\frac{F}{\varpi}$, si elle était choisie selon d'autres principes qui n'ont rien d'absolument inadmissible, pourrait donner aux dilatations longitudinales la prédominance sur les dilatations circonférentielles.

Cette circonstance fâcheuse serait évitée si l'on donnait à P_1 des valeurs de plus en plus grandes (P_0 devant être regardé comme invariable), mais une pareille augmentation aurait en même temps pour effet d'accroître les dilatations longitudinales.

On voit à quels embarras conduit la manière habituelle de

Fig. 1.



traiter le problème, en ce qui concerne les tractions exercées sur les extrémités du corps et il est naturel de chercher quels sont les procédés dont on dispose pour échapper à ces difficultés. Imaginons, par exemple, que l'on considère la virole et le corps comme formant un solide unique dont la section par un demi-plan méri-

Digitized by Google

dien est *abcdef*; soit *cdlm* la section du tube et des frettes. La culasse applique sur la virole des forces que l'on peut confondre avec une traction à peu près uniforme exercée sur la portion *bg* de cette pièce. Sur *cg* les forces sont presque nulles; sur *af* et sur le cylindre *fe* elles sont négligeables; sur le cylindre *cd* il existe une pression P_1. On peut chercher à calculer les tensions élastiques en tous les points du plan *ck* et les dilatations en tous les points du corps. Cette manière de poser le problème s'écarte visiblement assez peu de ses données réelles et permet d'en aborder l'étude mathématique. Il existe d'autres façons encore de concevoir les liaisons établies entre les divers éléments d'une bouche à feu, tout en se réservant les moyens de les étudier avec précision. C'est ce que nous nous efforcerons de montrer dans un autre travail.

Avant d'abandonner le sujet actuel, il nous reste à dire quelques mots d'une question souvent examinée et encore indécise aujourd'hui : il s'agit de l'avantage que peuvent avoir les canons à résistances séparées (frettés par fil d'acier enroulé) sur les canons à résistances solidaires, tels qu'on les construit en France actuellement (canons à frettes massives). La plupart des auteurs ont admis comme démontrée la nécessité de faire travailler chaque pièce de métal dans un sens unique. Ce principe, loin d'être établi en toute rigueur, est en contradiction fréquente avec la théorie de l'élasticité aussi bien qu'avec les idées plus ou moins précises que nous nous faisons des phénomènes les plus vulgaires.

Dans le cas actuel et supposant d'abord que les formules de Lamé et du général Virgile soient applicables, il faut distinguer deux points de vue, selon que l'on veut maintenir au-dessous de valeurs données les tensions élastiques maxima ou bien les plus grandes des dilatations. S'il s'agit de limiter les tensions du corps, la plus grande, qui est dirigée suivant la circonférence, n'est pas accrue par l'adjonction d'une traction dirigée suivant l'axe. Si l'on préfère limiter les dilatations, la plus grande est circonférentielle et toute traction, dirigée suivant l'axe, l'amoindrit, en vertu de relations qui sont comprises dans les formules de Lamé. Comparons entre elles deux bouches à feu, la première du type à résistances séparées, la seconde d'un modèle à résistances

Digitized by Google

solidaires. Si les dimensions du corps limitent pour la première sa plus grande dilatation, qui est dirigée suivant l'axe, comme elles limitent pour la seconde la dilatation circonférentielle, qui est alors maximum, l'avantage d'un poids plus faible est acquis à la première, mais les dangers à craindre pour le personnel en cas de rupture des deux pièces sont tout différents et beaucoup moins graves pour la seconde. Ces conclusions ne sont pas modifiées en substance, lorsqu'on remplace les équations de Lamé par celles que nous donnons dans ce mémoire, pourvu que les tractions F, appliquées aux extrémités du corps, soient évaluées comme elles le sont d'ordinaire; les dilatations circonférentielles maxima restent en effet, supérieures aux plus grandes dilatations longitudinales. Toutefois les différences s'atténuent; de plus, l'évaluation de F est soumise, nous l'avons déjà fait observer, à de nombreuses incertitudes et il est telles manières de concevoir les liaisons établies entre la culasse, la virole et le corps qui pourraient faire craindre que tout se passe, pour les parties les plus fatiguées de ce dernier, comme si l'évaluation usuelle des F était beaucoup trop faible. S'il en était ainsi, les dilatations longitudinales pourraient, d'après nos formules, prendre des valeurs supérieures aux dilatations circonférentielles maxima et rien ne permettrait plus d'attribuer un avantage au type à résistances séparées. Notre prochain travail fournira sans doute des données plus précises sur ce sujet.

---

§ 1.

Équations auxquelles il faut satisfaire. — Choix de deux sortes d'expressions particulières vérifiant les équations indéfinies.

Voici comment se pose le problème : on a un tube cylindrique, élastique et homogène, de section circulaire, terminé par deux plans perpendiculaires à l'axe. Celui-ci est pris pour axe des coordonnées. Chaque point de la masse est déterminé par sa distance r à cet axe, par l'abscisse z du pied de cette distance, comptée à partir de l'une des extrémités du tube, et par l'angle ω que fait, avec un plan fixe passant par l'axe, le plan diamétral contenant le

Digitized by Google

point considéré. Soient r_0, r_1 les valeurs de r sur les surfaces cylindriques, intérieure et extérieure, qui limitent le tube, de sorte que $r_1 \geqq r \geqq r_0$. Soient o et $2z_0$ les abscisses qui déterminent les sections droites extrêmes du tube.

Ce dernier est supposé soumis aux actions suivantes :

1° Sur la surface cylindrique extérieure, $r = r_1$, à une pression négligeable;

2° Sur la surface intérieure $r = r_0$ et, pour $o \leqq z \leqq z_1$, à une pression P_0, constante et uniforme; pour $z_1 < z \leqq 2z_0$, à une autre pression P_1, également constante et uniforme;

3° Sur ses faces planes extrêmes, à deux tractions F_0, égales et opposées, uniformément réparties et proportionnelles à P_0.

Il s'agit d'obtenir la forme d'équilibre du tube élastique.

Avec les notations déjà employées dans un autre travail (*Mémorial de l'Artillerie de la Marine*, 1897), les équations d'équilibre peuvent être représentées de la manière suivante:

$$(1)\quad \begin{cases} (\lambda+2\mu)\left(\dfrac{\partial^2\varepsilon}{\partial r^2}+\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\varepsilon}{\partial r}-\dfrac{\varepsilon}{r^2}\right)+\mu\dfrac{\partial^2\varepsilon}{\partial z^2}+(\lambda+\mu)\dfrac{\partial^2 w}{\partial r\,\partial z}=0, \\ (\lambda+2\mu)\dfrac{\partial^2 w}{\partial z^2}+\mu\left(\dfrac{\partial^2 w}{\partial r^2}+\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial w}{\partial r}\right) \\ \qquad\qquad +(\lambda+\mu)\left(\dfrac{\partial^2\varepsilon}{\partial r\,\partial z}+\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\varepsilon}{\partial z}\right)=0. \end{cases}$$

ε est le déplacement radial, au point de coordonnées primitives r, z;

w est le déplacement longitudinal ou axial en ce même point.

Soit encore θ la dilatation cubique, de sorte que

$$(2)\qquad \theta = \frac{\partial\varepsilon}{\partial r}+\frac{\varepsilon}{r}+\frac{\partial w}{\partial z}$$

et

$$(3)\qquad \frac{\partial\varepsilon}{\partial z}-\frac{\partial w}{\partial r}=\gamma_1.$$

Un calcul immédiat montre que les deux équations précédentes peuvent être écrites

$$(4)\quad \begin{cases} (\lambda+2\mu)\dfrac{\partial\theta}{\partial r}+\mu\dfrac{\partial\gamma_1}{\partial z}=0, \\ (\lambda+2\mu)\dfrac{\partial\theta}{\partial z}-\mu\left(\dfrac{\partial\gamma_1}{\partial r}+\dfrac{\gamma_1}{r}\right)=0. \end{cases}$$

Digitized by Google

Ces relations doivent être satisfaites en tous les points de la masse.

La première montre que l'on peut poser

$$\theta = \frac{\mu}{\lambda + 2\mu}\frac{\partial\delta}{\partial z}, \qquad \eta = -\frac{\partial\delta}{\partial r}; \tag{5}$$

la seconde devient ainsi

$$\frac{\partial^2\delta}{\partial r^2} + \frac{\partial^2\delta}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\delta}{\partial r} = 0. \tag{6}$$

D'ailleurs, d'après la définition de η et la seconde équation (5),

$$\frac{\partial\varepsilon}{\partial z} - \frac{\partial(w-\delta)}{\partial r} = 0, \tag{7}$$

c'est-à-dire que l'on peut prendre encore

$$\varepsilon = \frac{\partial\alpha}{\partial r}, \qquad w - \delta = \frac{\partial\alpha}{\partial z}, \tag{8}$$

α étant une fonction inconnue nouvelle. Mais puisque

$$\theta = \frac{\mu}{\lambda + 2\mu}\frac{\partial\delta}{\partial z} = \frac{\partial\varepsilon}{\partial r} + \frac{\varepsilon}{r} + \frac{\partial w}{\partial z},$$

en vertu des relations (2) et (5), on conclut des formules précédentes

$$\frac{\partial^2\alpha}{\partial r^2} + \frac{\partial^2\alpha}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\alpha}{\partial r} = -\frac{\lambda+\mu}{\lambda+2\mu}\frac{\partial\delta}{\partial z}. \tag{9}$$

Soient f et F deux solutions de l'équation (6). L'expression $\frac{r\,\partial f}{\partial r}$ vérifie la condition

$$\frac{\partial^2}{\partial r^2}\left(r\frac{\partial f}{\partial r}\right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\left(r\frac{\partial f}{\partial r}\right) + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial f}{\partial r}\right) = -2\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}.$$

Si donc

$$\delta = \frac{2(\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu}\frac{\partial f}{\partial z}, \tag{10}$$

$$r\frac{\partial f}{\partial r} = \alpha, \tag{11}$$

l'équation (9) est satisfaite identiquement. La solution la plus

Digitized by Google

générale est donc donnée par

$$(12) \qquad \alpha = F + r\frac{\partial f}{\partial r}, \qquad \delta = 2\frac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu}\frac{\partial f}{\partial z},$$

et l'on en déduit, pour ε et w, le résultat qui suit

$$(13) \qquad \begin{cases} \varepsilon = \dfrac{\partial}{\partial r}\left(F + r\dfrac{\partial f}{\partial r}\right), \\ w = \dfrac{\partial}{\partial z}\left(F + r\dfrac{\partial f}{\partial r} + 2\dfrac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu} f\right), \end{cases}$$

F et f étant deux solutions de l'équation

$$(14) \qquad \frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial r} = 0,$$

et cela en tous les points de la masse élastique. Voici quelles sont, en outre, les conditions à remplir sur les surfaces limites.

Nous désignerons, comme on le fait d'ordinaire, par N_1, N_2, N_3, T_1, T_2, T_3 les composantes des forces élastiques en chaque point. Il est clair que, sur la surface $r = r_0$, l'on doit avoir $T_2 = T_3 = 0$, puisque les pressions appliquées sont normales à la paroi; soit $\mathfrak{P}$ une constante, qui prend la valeur P_0, pour $0 \leq z \leq z_1$, et P_1, pour $z_1 < z \leq 2z_0$. Sur la même surface $r = r_0$, il est nécessaire que l'on ait $N_1 = -\mathfrak{P}$, c'est-à-dire, avec la condition de normalité,

$$(15) \qquad \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} = 0,$$

celle-ci

$$(16) \qquad \lambda\theta + 2\mu\frac{\partial \varepsilon}{\partial r} = -\mathfrak{P}.$$

Sur le cylindre $r = r_1$, des relations exactement pareilles sont vérifiées: la seule différence est que $\mathfrak{P}$ est remplacée par zéro.

Sur les plans $z = 0$, $z = 2z_0$, il est visible que l'on doit avoir

$$T_1 = T_2 = 0, \qquad N_3 = F_0.$$

Il en résulte, pour $z = 0$ ou $z = 2z_0$,

$$(17) \qquad \lambda\theta + 2\mu\frac{\partial w}{\partial z} = F_0,$$

$$(18) \qquad \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} = 0.$$

Digitized by Google

D'après les expressions (13), obtenues pour ε et w, ces conditions s'expriment encore ainsi :

1° $r = r_0$

$$(19)\qquad \begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial r}\left(r\dfrac{\partial^2 f}{\partial r^2}+\dfrac{\partial f}{\partial r}+\dfrac{\partial \mathrm{F}}{\partial r}\right)+\dfrac{\lambda}{\lambda+\mu}\dfrac{\partial^2 f}{\partial z^2} \\ \quad =\dfrac{\mathfrak{P}}{2\mu}=\dfrac{\partial^2}{\partial r^2}\left(\mathrm{F}+r\dfrac{\partial f}{\partial r}\right)+\dfrac{\lambda}{\lambda+\mu}\dfrac{\partial^2 f}{\partial z^2}, \end{cases}$$

$$(20)\qquad \frac{\partial^2}{\partial r\,\partial z}\left(\mathrm{F}+r\frac{\partial f}{\partial r}+\frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu}f\right)=0;$$

2° $r = r_1$. Mêmes équations, $\mathfrak{P}$ étant remplacée par zéro;

3° $z = 0$ ou $z = 2z_0$

$$(21)\qquad \frac{\partial^2}{\partial z^2}\left(\mathrm{F}+r\frac{\partial f}{\partial r}+\frac{3\lambda+4\mu}{\lambda+\mu}f\right)=\frac{\mathrm{F}_0}{2\mu},$$

$$(22)\qquad \frac{\partial^2}{\partial r\,\partial z}\left(\mathrm{F}+r\frac{\partial f}{\partial r}+\frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu}f\right)=0.$$

Nous allons chercher des solutions simples, contenant des constantes arbitraires et satisfaisant, d'une part, aux équations telles que (14), pour toute valeur de r et de z, d'autre part, à quelques-unes des conditions (19), (20), (21) et (22).

Nous formerons ensuite, à l'aide de ces solutions simples, des séries qui vérifient toutes les conditions du problème.

Cherchons d'abord des solutions de l'équation (14), représentées de la manière suivante

$$(23)\qquad f=(p+qz)e^{-hz},\qquad \mathrm{F}=(\mathrm{P}+\mathrm{Q}z)e^{-hz},$$

p, q, P, Q étant des fonctions de la seule variable r. Nous aurons

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2}(e^{-hz})=h^2e^{-hz},\qquad \frac{\partial^2}{\partial z^2}(ze^{-hz})=h(hz-2)e^{-hz}.$$

En substituant donc l'expression (23) dans l'équation (14), nous trouverons les relations nécessaires ci-dessous transcrites

$$(24)\qquad \begin{cases} \dfrac{\partial^2 q}{\partial r^2}+\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial q}{\partial r}+h^2q=0, \\ \dfrac{\partial^2 p}{\partial r^2}+\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial p}{\partial r}+h^2p=2hq. \end{cases}$$

Digitized by Google

La deuxième équation (24) montre, par un calcul très simple, analogue à l'un de ceux qui ont été déjà présentés plus haut, que nous pouvons représenter p par une expression telle que celle-ci, dans laquelle g est une solution de l'équation (24) sans second membre,

$$p = g - \frac{r}{h}\frac{\partial q}{\partial r}. \tag{25}$$

Faisons en sorte que, pour $z = 0$, la condition (22) soit satisfaite, quel que soit r. Cela exige, G étant une fonction analogue à g,

$$\left\{\frac{\partial}{\partial r}\left[h\left(G + \frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu}g - \frac{r}{h}\frac{\partial Q}{\partial r} - \frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu}\frac{r}{h}\frac{\partial q}{\partial r} + r\frac{\partial g}{\partial r} + hr^2 q\right)\right.\right. \\ \left.\left. - \left(Q + \frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu}q + r\frac{\partial q}{\partial r}\right)\right] = 0. \tag{26}$$

Ceci devant avoir lieu quel que soit r, il est clair que le terme hr^2q ne se réduit avec aucun autre, et, par suite, il est nécessaire que q soit identiquement nulle. L'équation à vérifier se réduit alors à celle-ci

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(hG + \frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu}hg - r\frac{\partial Q}{\partial r} + hr\frac{\partial g}{\partial r} - Q\right) = 0. \tag{27}$$

En écrivant encore que les termes de même espèce ont une somme nulle, nous aurons

$$Q = hg, \qquad G = -\frac{\mu}{\lambda+\mu}g, \tag{28}$$

de sorte que les formules faisant connaître f et F sont devenues

$$\left\{\begin{array}{c} f = g(r)e^{-hz}, \\ F = \left[hg(r)z - \dfrac{\mu}{\lambda+\mu}g(r) - r\dfrac{\partial g}{\partial r}\right]e^{-hz}. \end{array}\right. \tag{29}$$

Nous allons exprimer que la condition (20) est vérifiée, pour $r = r_0$ et pour $r = r_1$, par les fonctions f et F, ainsi définies, et cela, quel que soit z. Or, d'après (29),

$$F + r\frac{\partial f}{\partial r} + \frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu}f = g(r)(1+hz)e^{-hz};$$

Digitized by Google

l'équation (20) équivaut donc à la suivante

$$\frac{\partial g}{\partial r} \cdot \frac{\partial}{\partial z}[(1+hz)e^{-hz}] = 0, \qquad r = r_0 \quad \text{ou} \quad r = r_1.$$

Par suite, en posant $\frac{\partial g}{\partial r} = g'(r)$,

$$g'(r_1) = g'(r_0) = 0. \tag{30}$$

Soit $R = hr$; il en résulte, puisque $\frac{\partial^2 g}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial g}{\partial r} + h^2 g = 0$, l'équation bien connue

$$\frac{\partial^2 g}{\partial R^2} + \frac{1}{R}\frac{\partial g}{\partial R} + g = 0,$$

c'est-à-dire, en désignant par $I(R)$, $Y(R)$ les fonctions de Bessel d'indice zéro,

$$g = AI(R) + BY(R), \tag{31}$$

A et B étant des constantes arbitraires. Les conditions (30) exigent donc

$$AI'(R_0) + BY'(R_0) = AI'(R_1) + BY'(R_1) = 0, \tag{32}$$

et il en résulte

$$I'(R_0)Y'(R_1) - Y'(R_0)I'(R_1) = 0, \tag{33}$$

avec

$$\frac{B}{A} = -\frac{I'_0}{Y'_0},$$

ou bien

$$A = \alpha Y'_0, \qquad B = -\alpha I'_0, \tag{34}$$

α étant une nouvelle constante arbitraire à l'aide de laquelle s'expriment A et B. L'équation (33) définit h par une équation transcendante, qui admet une infinité de racines, réelles, positives et distinctes.

D'après (31) et (34), si l'on écrit, pour abréger,

$$H(R) = Y'(R_0)I(R) - I'(R_0)Y(R), \tag{35}$$

il en résulte

$$g(r) = \alpha H(R), \tag{36}$$

et l'équation qui détermine h est simplement celle-ci :

$$H'(R_1) = 0. \tag{37}$$

Digitized by Google

Pour r quelconque et $z = 0$, l'équation (20) est encore satisfaite, parce qu'elle s'exprime ainsi :

$$\frac{\partial g}{\partial r} \cdot \frac{\partial}{\partial z} [(1 - hz)e^{-hz}] = -h^2 z e^{-hz} \frac{\partial g}{\partial r} = 0.$$

Pour r quelconque et $z = 2z_0$, nous verrons plus tard que $2hz_0$ est assez grand pour que le produit $2h^2 z_0 e^{-2hz_0}$ soit entièrement négligeable. Il n'y aurait eu d'ailleurs aucune difficulté à exprimer en toute rigueur la condition de normalité des pressions, r étant quelconque et z égal à $2z_0$, en employant une solution simple contenant, avec l'exponentielle e^{-hz}, son inverse e^{hz}, mais on eût ainsi compliqué les calculs précédents de termes que le calcul numérique final eût montrés si petits qu'il est impossible d'en tenir compte.

Les équations (29) donnent notre solution simple sous la forme

$$(38) \qquad \begin{cases} f = \alpha H(R) e^{-hz}, \\ F = \alpha \left[\left(hz - \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) H(R) - RH'(R) \right] e^{-hz}, \end{cases}$$

avec H(R) définie par l'équation (35) et les valeurs, en nombre infini, de h, par l'équation (37).

Cette solution particulière donne lieu à une condition qu'il est aisé de mettre en évidence. On a

$$\varepsilon = \frac{\partial}{\partial r} \left(F + r \frac{\partial f}{\partial r} \right),$$

et, d'après (29),

$$F + r \frac{\partial f}{\partial r} = g(r) e^{-hz} \left(hz - \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right).$$

Il en résulte

$$(39) \qquad \varepsilon = e^{-hz} \left(hz - \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) g'(r) = \alpha H'(R) e^{-hz} \left(hz - \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right),$$

et, à cause des relations (30), on voit que l'expression de ε s'évanouit pour $r = r_0$ ou $r = r_1$.

Les équations du problème sont susceptibles d'une autre sorte de solutions simples.

Elles peuvent se représenter ainsi

$$(40) \qquad f = p(r) \cos kz, \qquad F = P(r) \cos kz,$$

Digitized by Google

k désignant une constante. On constate d'abord que les équations (14), auxquelles f et F doivent satisfaire, exigent

$$(41) \qquad \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial p}{\partial r} - k^2 p = 0, \qquad \frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial P}{\partial r} - k^2 P = 0,$$

Si donc on pose $ikr = S$, il est permis d'écrire

$$(42) \qquad p = aI(S) + bY(S), \qquad P = AI(S) + BY(S),$$

a, b, A, B étant des constantes arbitraires. On a vu que la condition nécessaire afin que les pressions soient normales sur les surfaces limites est

$$\frac{\partial^2}{\partial r \partial z}\left(F + r\frac{\partial f}{\partial r} + \frac{\lambda - 2\mu}{\lambda + \mu} f\right) = 0.$$

On peut vérifier cette condition pour chacune des solutions (40), la constante k prenant une infinité dénombrable de valeurs distinctes. D'abord, l'équation précédente équivaut à celle-ci

$$(43) \qquad -k \sin kz \frac{\partial}{\partial r}\left(P + r\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu} p\right) = 0;$$

elle est vérifiée, pour r quelconque et $z = 0$ ou $z = 2z_0$, pourvu que l'on ait

$$(44) \qquad 2kz_0 = n\pi,$$

n étant un entier quelconque. Afin qu'elle le soit aussi, z restant arbitraire, pour $r = r_0$ ou $r = r_1$, il suffit que, d'après (43),

$$\frac{\partial P}{\partial r} + \frac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu}\frac{\partial p}{\partial r} + k^2 rp = 0, \qquad r = \begin{cases} r_0 \\ r_1 \end{cases}.$$

Soient $\frac{\partial P}{\partial S} = P'(S)$, $\frac{\partial p}{\partial S} = p'(S)$. Comme $S = ikr$, $\frac{\partial P}{\partial r} = ikP'$, $\frac{\partial p}{\partial r} = ikp'$, ce qui change l'équation (43) en celle-ci

$$(45) \qquad P'(S) + \frac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu} p'(S) - Sp = 0;$$

il est donc nécessaire que l'on ait

$$(46) \qquad \begin{cases} P'(S_0) = S_0 p(S_0) - \dfrac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu} p'(S_0), \\ P'(S_1) = S_1 p(S_1) - \dfrac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu} p'(S_1). \end{cases}$$

Digitized by Google

Ces relations font connaître deux relations linéaires entre A, B, a et b. Lorsqu'on en tient compte et que l'on prend $k = \frac{n\pi}{2z_0}$, n étant un nombre entier, la solution (40) correspond à des pressions normales sur les surfaces limites du tube.

Mais, de même que la solution (38), elle satisfait en outre, quel que soit n, à une condition particulière. On a

$$F + 2\frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu} f + r\frac{\partial f}{\partial r} = \cos kz \left[P(S) + Sp'(S) + 2\frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu} p(S) \right];$$

par suite

$$w = -k \sin kz \left(P + Sp' + 2\frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu} p \right), \tag{47}$$

et l'on voit que w s'évanouit pour $z = 0$ ou $z = 2z_0$, c'est-à-dire sur les faces planes extrêmes du tube.

---

§ II.

Décomposition du déplacement cherché en trois autres. Détermination d'un déplacement de Lamé, d'un déplacement représenté par des séries de Fourier et d'un déplacement complémentaire. Usage de la représentation conforme.

Nous avons trouvé deux sortes de solutions particulières. Les premières remplissent les conditions suivantes :

1° Elles correspondent à des pressions normales, sur $r = r_0$, $r = r_1$ et sur $z = 0$;

2° Pour $r = r_0$ ou $r = r_1$, elles correspondent à une valeur nulle de ε.

Ces solutions sont définies par les formules

$$(1) \quad \begin{cases} R^{(n)} = h_n r, \quad H'_n(R_0^{(n)}) = H'_n(R_1^{(n)}) = 0, \\ H_n(R^{(n)}) = Y'(R_0^{(n)}) I(R^{(n)}) - I'(R_0^{(n)}) Y(R^{(n)}), \end{cases}$$

$$(2) \quad \begin{cases} f = C_n H_n(R^{(n)}) e^{-h_n z}, \\ F = C_n \left[\left(h_n z - \frac{\mu}{\lambda+\mu} \right) H_n(R^{(n)}) - R^{(n)} H'_n(R^{(n)}) \right] e^{-h_n z}; \end{cases}$$

Digitized by Google

Les secondes sont choisies de telle sorte que :

1° Elles correspondent à des pressions normales sur $r = r_0$, $r = r_1$ et sur $z = 0$;

2° Pour $z = 0$ ou $z = 2z_0$, elles correspondent à une valeur nulle de w.

Ces solutions sont définies ainsi qu'il suit :

$$(3)\quad S = \frac{im\pi r}{2z_0},\ m \text{ entier}, \qquad \frac{d^2p}{dS^2} + \frac{1}{S}\frac{dp}{dS} + p = 0 = \frac{d^2P}{dS^2} + \frac{1}{S}\frac{dP}{dS} +$$

$$(4)\quad P'(S_0) = S_0 p(S_0) - \frac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu} p'(S_0), \qquad P'(S_1) = S_1 p(S_1) - \frac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu} p'(S_1),$$

$$(5)\quad f = p(S)\cos\frac{m\pi z}{2z_0}, \qquad F = P(S)\cos\frac{m\pi z}{2z_0}.$$

Nous allons considérer ε et w, dans le problème proposé, comme somme de trois déplacements,

$$(6)\quad \varepsilon = \varepsilon' + \varepsilon'' + \varepsilon''', \qquad w = w' + w'' + w''';$$

ε''' et w''' sont des déplacements de Lamé;

ε'' et w'' sont déterminés par des séries formées à l'aide de termes tels que (2);

ε' et w' sont donnés par des séries composées avec des termes tels que (5).

ε''' et w''' vont être choisis de telle manière qu'ils correspondent à des tractions normales, constantes et uniformes, appliquées sur $z = 0$, $z = 2z_0$, égales aux valeurs que prennent ces mêmes tractions dans le problème qu'il s'agit d'étudier; de plus, sur $r = r_1$, la pression normale sera nulle et, sur $r = r_0$, elle sera normale, constante, uniforme et égale à

$$(7)\quad \frac{P_0 + \gamma P_1}{1 + \gamma},$$

γ étant une constante que nous nous réservons de choisir.

Chacun des termes qui composent ε' et w' comprend encore deux constantes arbitraires. Nous établirons entre ces constantes une relation de la manière suivante : nous exprimerons que, sur $r = r_1$, la pression normale, relative à l'une quelconque des solutions (5), soit nulle.

Digitized by Google

Nous supposerons, dans tout ce qui va suivre, $\lambda = \mu$; la condition précédente pourra donc s'exprimer par l'équation

$$(8) \qquad S_1 p'(S_1) + \frac{1}{2} p(S_1) + \frac{P'(S_1)}{S_1} + P(S_1) = 0.$$

Cette équation, jointe aux égalités (46) (§ I), donne entre les constantes a, b, A, B, trois relations homogènes et linéaires: nous imaginerons qu'elles ont été résolues par rapport à

$$\frac{a}{A}, \quad \frac{b}{A}, \quad \frac{B}{A},$$

de sorte qu'il reste, pour chacune des solutions (5), une seule constante arbitraire, variable avec le rang m de cette solution et en facteur dans tous ses termes, soit A_m.

Cela fait, ε' et ϖ' seront assujettis à donner, sur $r = r_0$, une pression normale égale à

$$(9) \qquad \frac{\gamma(P_0 - P_1)}{1-\gamma}, \text{ pour } 0 \leq z \leq z_1, \quad \text{à} \quad -\frac{(P_0 - P_1)}{1+\gamma} \text{ pour } z_1 \leq z \leq 2z_0.$$

Nous désignerons maintenant par p, P, non plus les fonctions de Bessel, auxquelles nous avions d'abord donné ce nom, mais leurs quotients par A pour chaque valeur de m, de sorte que ε', ϖ' seront déduits de séries dont chaque terme est représenté, non plus par les formules (5), mais par celles-ci

$$(10) \qquad f_m = A_m p(S) \cos\frac{m\pi z}{2z_0}, \qquad F = A_m P(S) \cos\frac{m\pi z}{2z_0}.$$

Nous trouverons alors, pour $r = r_0$,

$$(11) \quad \begin{cases} \lambda\theta' + 2\mu\dfrac{\partial\varepsilon'}{\partial r} \\ = 2\mu\displaystyle\sum_m \left(\frac{\pi m}{2z_0}\right)^2 A_m \left[S_0^{(m)} p'_m(S_0^{(m)}) + \frac{1}{2} p_m(S_0^{(m)}) - \frac{P'_m(S_0^{(m)})}{S_0^{(m)}} - P_m(S_0^{(m)})\right] \cos\frac{m\pi z}{2z_0} \end{cases}$$

Pour abréger l'écriture, nous poserons $\frac{2\pi z}{r_0} = \zeta$, de sorte que

$$\frac{\pi m}{2z_0} = \frac{\pi^2 m}{\zeta_0} \cdot \frac{1}{r_0}, \qquad \frac{m\pi z}{2z_0} = \frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0};$$

ζ, ζ_0, de même que R, S, R_0, etc., ne sont plus que des rapports

Digitized by Google

purement numériques. Le déplacement ε', w' doit être tel que $-\left(\lambda\theta' + 2\mu\frac{\partial\varepsilon'}{\partial r}\right)$ soit, sur le cylindre $r = r_0$, égal à l'expression discontinue (9). Nous représenterons cette dernière par $\mathfrak{P}'$, en sorte que l'on a

$$(12)\quad \mathfrak{P}' = \frac{\gamma(P_0 - P_1)}{1+\gamma},\ 0 \leq z \leq z_1; \qquad \mathfrak{P}' = -\frac{P_0 - P_1}{1+\gamma},\ z_1 < z \leq 2z_0.$$

L'équation précédente (11) devient

$$(13)\quad \mathfrak{P}' = -\frac{2\mu}{r_0^2}\sum_{(m)}\left(\frac{m\pi^2}{\zeta_0}\right)^2 A_m\left[S_0^{(m)}p'_m(S_0^{(m)}) + \frac{1}{2}p_m(S_0^{(m)}) + \frac{P'_m(S_0^{(m)})}{S_0^{(m)}} - P_m(S_0^{(m)})\right]\cos\frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0}.$$

Soit

$$(14)\quad \frac{2\mu}{r_0^2}\left(\frac{m\pi^2}{\zeta_0}\right)^2 A_m\left[S_0^{(m)}p'_m(S_0^{(m)}) + \frac{1}{2}p_m(S_0^{(m)}) + \frac{P'_m(S_0^{(m)})}{S_0^{(m)}} + P_m(S_0^{(m)})\right] = A'_m(P_0 - P_1).$$

L'équation précédente s'exprime alors ainsi qu'il suit

$$-\frac{\mathfrak{P}'}{P_0 - P_1} = \sum_{(m)} A'_m \cos\frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0},$$

et, pour déterminer A'_m, nous avons à chercher les coefficients d'une série de Fourier représentant

$$-\frac{\gamma}{1+\gamma},\ \text{pour } 0 \leq \zeta < \zeta_1,$$

et

$$\frac{1}{1+\gamma},\ \text{pour } \zeta_1 < \zeta \leq 2\zeta_0.$$

Comme cette série de Fourier ne contient pas de termes indépendants des lignes trigonométriques, il faut, pour que le problème soit possible, que sa valeur moyenne soit nulle. Voyons quelle est cette valeur moyenne et nous en conclurons la valeur nécessaire de γ. On a évidemment pour la valeur moyenne cherchée

$$(16)\quad \frac{1}{2\zeta_0}\left[\int_0^{\zeta_1} -\frac{\gamma}{1+\gamma}\,d\zeta + \int_{\zeta_1}^{2\zeta_0}\frac{1}{1+\gamma}\,d\zeta\right] = \frac{1}{1+\gamma}\left[2\zeta_0 - \zeta_1 - \gamma\zeta_1\right]\frac{1}{2\zeta_0}.$$

Il en résulte

$$\frac{2\zeta_0}{\zeta_1} = 1 + \gamma,$$

Digitized by Google

c'est-à-dire

$$\gamma = \frac{2\zeta_0 - \zeta_1}{\zeta_1}, \qquad \frac{\gamma}{1+\gamma} = 1 - \frac{\zeta_1}{2\zeta_0}, \qquad \frac{1}{1+\gamma} = \frac{\zeta_1}{2\zeta_0}.$$

En déterminant les coefficients A'_m, comme on doit le faire pour une série de Fourier, nous trouvons

$$(18)\quad \zeta_0 A'_m = -\left(1 - \frac{\zeta_1}{2\zeta_0}\right)\int_0^{\zeta_1} \cos\frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0}\,d\zeta + \frac{\zeta_1}{2\zeta_0}\int_{\zeta_1}^{\zeta_0} \cos\frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0}\,d\zeta,$$

c'est-à-dire

$$A'_m = -\frac{2}{m\pi}\left[\left(1 - \frac{\zeta_1}{2\zeta_0}\right)\sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0} + \frac{\zeta_1}{2\zeta_0}\sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}\right]$$

ou bien enfin

$$(19)\qquad A'_m = -\frac{2}{m\pi}\sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0};$$

connaissant A'_m, il sera facile d'en déduire A_m. Nous écrirons encore, pour abréger,

$$(20)\quad S_0^{(m)} p'_m(S_0^{(m)}) + \frac{1}{2} p_m(S_0^{(m)}) + \frac{P'_m(S_0^{(m)})}{S_0^{(m)}} + P_m(S_0^{(m)}) = -\frac{1}{E_m};$$

E_m est une constante, que nous savons calculer pour chaque valeur de m et nous pouvons écrire

$$A_m = -\frac{r_0^2}{2\mu}\left(\frac{\zeta_0}{m\pi^2}\right)^2 A'_m E_m (P_0 - P_1)$$

ou encore

$$(21)\qquad A_m = \frac{r_0^2}{\mu}(P_0 - P_1)\left(\frac{\zeta_0}{\pi}\right)^2\left(\frac{1}{m\pi}\right)^3 E_m \sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0};$$

nous savons donc écrire les expressions de ε', w'. On a, en effet,

$$(22)\quad \begin{cases} \varepsilon' = \dfrac{\partial}{\partial r}\displaystyle\sum_m \left(F_m + r\frac{\partial f_m}{\partial r}\right), \\ w' = \dfrac{\partial}{\partial z}\displaystyle\sum_m \left(F_m + r\frac{\partial f_m}{\partial r} + 2\frac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu} f_m\right), \qquad \theta' = \dfrac{\partial^2 f_m}{\partial z^2} \end{cases}$$

[équations (13) (§ I)], avec

$$(23)\quad \begin{cases} f_m = A_m\left[a_m I(S) + b_m Y(S)\right]\cos\dfrac{m\pi\zeta}{2\zeta_0}, \\ F_m = A_m\left[\quad I(S) + B_m Y(S)\right]\cos\dfrac{m\pi\zeta}{2\zeta_0}, \end{cases}$$

Digitized by Google

a_m, b_m, B_m sont définis, comme on l'a vu par les équations (8) (§ II) et (46) (§ I), dans lesquelles A est remplacé par l'unité; A_m est donnée par la formule (21) ci-dessus.

Le déplacement ε''', w''' est d'une forme bien connue. On sait que l'on peut écrire

$$\varepsilon''' = ar + \frac{b}{r} \qquad w''' = cz, \tag{24}$$

avec

$$\begin{cases} a = \dfrac{3}{10\mu}\dfrac{r_0^2(P_0+\gamma P_1)}{(1+\gamma)(r_1^2-r_0^2)} - \dfrac{F_0}{10\mu}, \qquad b = \dfrac{r_0^2 r_1^2}{2\mu(r_1^2-r_0^2)}\dfrac{P_0+\gamma P_1}{1+\gamma}, \\ c = \dfrac{2}{5\mu}F_0 - \dfrac{1}{5\mu}\dfrac{r_0^2(P_0+\gamma P_1)}{(1+\gamma)(r_1^2-r_0^2)}; \end{cases} \tag{25}$$

comme

$$\frac{P_0+\gamma P_1}{1+\gamma} = \frac{\zeta_1 P_0}{2\zeta_0} + \left(1-\frac{\zeta_1}{2\zeta_0}\right)P_1,$$

nous possédons tous les éléments indispensables au calcul du déplacement ε''', w'''.

On voit qu'après avoir retranché du déplacement cherché, ε, w,

1° Le déplacement ε''', w''',

2° Le déplacement ε', w',

le déplacement restant ε'', w'' satisfait aux conditions suivantes :

Les pressions qui lui correspondent sont normales aux parois sur chacune des surfaces limites;

Elles sont nulles pour $r = r_1$; nulles encore pour $r = r_0$.

Sur $z = 2z_0$, elles sont si petites qu'il est absolument impossible d'en tenir compte.

Sur $z = 0$, elles sont parallèles à l'axe et telles que, jointes aux pressions de même espèce qui proviennent du déplacement ε', w', elles donnent pour somme zéro.

Enfin, le déplacement ε'', w'' est donné par une série de solutions élémentaires telles que (2).

Mais ce point demande quelques explications.

Les exponentielles e^{-hz} sont, comme nous le verrons plus loin, d'une telle petitesse, quand z devient égal à $2z_0$, que toutes les quantités liées aux solutions (2) et notamment les pressions qui en proviennent sur la face $z = 2z_0$, doivent être regardées comme

Digitized by Google

nulles. Si donc les pressions, appliquées sur cette même face et dues au déplacement ε', w', n'étaient pas, elles aussi, très voisines de zéro, les solutions (2) seraient incapables de se prêter au rôle qui leur est assigné. Nous constaterons dans un autre paragraphe que l'erreur commise, en remplaçant par zéro les pressions produites, sur $z = 2z_0$, par ε', w', est négligeable, mais nous allons indiquer en peu de mots comment il eût été possible d'en tenir compte. Il suffit d'observer que les valeurs de h^2 étant seules définies par l'équation transcendante (33) (§ I), l'on aura des solutions jouissant de toutes les propriétés assurées aux expressions (2), en substituant à z, $2z_0 - z$, dans ces dernières. Il est d'ailleurs visible que les solutions nouvelles, ainsi obtenues, correspondent à des pressions presque nulles sur $z = 0$ et il n'en est pas de même sur $z = 2z_0$. On pourrait donc, à l'aide d'un déplacement ε^{IV}, w^{IV}, construit avec ces solutions (2*) de la même manière que l'est ε'', w'' avec les solutions (2), détruire les pressions, établies sur $z = 2z_0$ par le déplacement ε', w', et cela sans troubler ce qui se passe sur $z = 0$. On pourrait aussi, en choisissant une combinaison linéaire des solutions (2) et (2*) relatives à deux valeurs de h, égales et opposées, appliquer en toute rigueur, et sans avoir égard d'avance à la petitesse des pressions produites sur $z = 2z_0$ par ε', w', la transformation générale qui sera donnée un peu plus loin [équations (30)].

Nous n'insistons pas sur ces détails, le déplacement ε'', w'', tel que nous l'avons défini, donnant à lui seul une précision bien suffisante.

Sur $z = 0$, les déplacements représentés par une série de Fourier, ε', w', donnent lieu à une pression normale, représentée par

$$\lambda\theta' + 2\mu\frac{\partial w'}{\partial z}.$$

Sur cette même surface limite, ε'', w'' donnent lieu à une pression normale, représentée par

$$\lambda\theta'' - 2\mu\frac{\partial w''}{\partial z}.$$

Il faut, d'après les hypothèses faites, que les coefficients de la série représentant ε'' et de celle qui représente w'' soient choisis

Digitized by Google

de telle manière que

$$(26)\qquad \lambda\theta' + 2\mu\frac{\partial w'}{\partial z} = -\left(\lambda\theta'' + 2\mu\frac{\partial w''}{\partial z}\right), \text{ pour } z = 0.$$

Mais cette condition, qui doit avoir lieu pour r compris entre r_0 et r_1, ne doit nullement être remplie pour toutes les valeurs de r; en outre, sur les surfaces $r = r_0$ ou r_1, les pressions, qui sont normales par la nature même des solutions employées, doivent être nulles, tant que z est compris entre o et $2z_0$.

Cette obligation nouvelle, alors que chaque solution élémentaire (2) ne contient qu'une constante disponible, et, d'autre part, la nécessité d'exprimer des conditions pour toutes les valeurs de la variable comprises entre certaines limites, sans exprimer les mêmes conditions pour toutes les autres valeurs de la variable, vont nous conduire à faire usage d'une méthode nouvelle, qui sera exposée d'abord d'une façon générale.

La difficulté principale consiste en ce que nous avons à exprimer des conditions au nombre de quatre, une pour chacun des côtés d'un rectangle, sans les exprimer en même temps pour les quatre droites indéfinies auxquelles ces côtés appartiennent. Le rectangle dont il s'agit est celui qu'on obtient, en prenant pour coordonnées rectilignes et rectangulaires, dans un plan, r et z et considérant les segments de droites

$$(27)\qquad \begin{cases} r = r_0, & r = r_1, & 0 \leq z \leq 2z_0; \\ z = z_0, & z = 2z_0, & r_0 \leq r \leq r_1. \end{cases}$$

Afin de remplacer les quatre conditions indiquées par une seule, valable sur tout le périmètre du rectangle et sur ce seul périmètre, nous allons faire usage de la représentation conforme. Il convient de remarquer que cette représentation intervient uniquement dans la démonstration des formules et que tout se réduit, en définitive, à des calculs faits à l'aide des variables de la question, r et z.

Voici comment on peut imaginer cette représentation conforme.

Soient

$$(28)\qquad \begin{cases} z + i(r - r_0) = 2u, \\ z - i(r - r_0) = 2v; \end{cases}$$

Digitized by Google

alors

$$(29)\qquad \begin{cases} z = u + v, \\ r - r_0 = -i(u - v). \end{cases}$$

Posons

$$(30)\quad 2u = L\int_0^U \frac{dU}{\sqrt{(1-U^2)(1-k^2U^2)}}, \quad 2v = L\int_0^V \frac{dV}{\sqrt{(1-V^2)(1-k^2V^2)}},$$

U et V étant des variables nouvelles, qu'il s'agit de substituer à u et v, c'est-à-dire à r et z, auxquelles ces dernières variables sont liées d'une manière simple, L et k étant des constantes, que nous nous réservons de déterminer.

U et V sont, comme u et v, des imaginaires conjuguées et, en écrivant

$$U = U' + U''i,$$

on peut se proposer de substituer les deux quantités réelles U', U'' aux deux variables r et z.

Ces deux nouvelles variables jouissent de propriétés bien connues. Quand U reçoit toutes les valeurs dont la partie imaginaire est positive, les valeurs correspondantes de $2u$ sont toujours contenues dans le rectangle formé par les quatre droites

$$r = r_0, \qquad r = r_1, \qquad z = 0, \qquad z = 2z_0;$$

en particulier, si l'on donne à U toutes les valeurs réelles, de $-\infty$ à $+\infty$, $2u$ prend toutes les valeurs qui correspondent aux points du périmètre du rectangle considéré. La condition à exprimer pour tout le périmètre de ce rectangle, devient donc une condition ayant lieu pour toutes les valeurs réelles de U, de $-\infty$ à $+\infty$, c'est-à-dire toutes les fois que U'' est nulle.

Il a fallu, pour obtenir ces résultats, choisir L et k d'après les dimensions et la position du rectangle indiqué. Le calcul effectif montre immédiatement que, vu les grandeurs relatives des diverses constantes qui entrent dans nos formules, la valeur de k est telle que les fonctions elliptiques, figurant dans les formules précédentes, sont presque dégénérescentes, la différence étant tout à fait négligeable.

Cela revient à dire que tout se passe, aux erreurs près qu'il est permis de négliger dans ces recherches, comme si $2z_0$ était infini.

Digitized by Google

Nous allons donc prendre immédiatement la représentation conforme, en tenant compte de cette circonstance.

A cet effet, posons

$$(31) \qquad 2u = \frac{\pi}{r_1 - r_0}(r_1 - r + iz), \qquad 2v = \frac{\pi}{r_1 - r_0}(r_1 - r - iz),$$

et soit

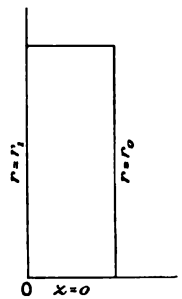
$$(32) \qquad 2u = \int_0^U \frac{dU}{\sqrt{U(1-U)}}, \qquad 2v = \int_0^V \frac{dV}{\sqrt{V(1-V)}},$$

de sorte que

$$(33) \qquad 2u = \frac{\pi}{2} + \arcsin(2U - 1) \quad \text{ou bien} \quad U = \frac{1}{2}(1 - \cos 2u) = \sin^2 u;$$

imaginons que l'on donne à u toutes les valeurs qui correspondent au périmètre du rectangle déjà mentionné; l'un des côtés de ce dernier, celui qui correspondait à $z = 2z_0$, est maintenant rejeté

Fig. 2.



à l'infini; r part de la valeur r_1, avec $z = 0$; le point représentatif de u est alors en O; puis on fait décroître r, z restant nul; pendant ce temps, il est clair que U est positif et < 1; pour $r = r_0$, $z = 0$, U atteint la valeur 1, car on a alors

$$2u = \int_0^1 \frac{dU}{\sqrt{U(1-U)}} = \pi,$$

ce qui est bien d'accord avec les formules (33). Puis, r restant égal à r_0, on donne à z des valeurs > 0; $2u$ est donc de la forme

$$(34) \qquad 2u = \pi + \frac{i\pi}{r_1 - r_0} z,$$

Digitized by Google

c'est-à-dire que $2u - \pi$ est une imaginaire pure; or, dans ce cas,

$$(35) \qquad 2u = \int_0^1 \frac{dU}{\sqrt{U(1-U)}} + \int_1^U \frac{dU}{\sqrt{U(1-U)}} = \pi + \int_1^U \frac{dU}{\sqrt{U(1-U)}}$$

et il est clair que $\int_1^U$ est une imaginaire pure. Ainsi, la représentation conforme du rectangle indéfini que nous avons considéré, sur la partie supérieure du plan des U, est bien donnée par les formules (32) et (33). Pendant que u reçoit toutes les valeurs qui répondent au périmètre du rectangle, U prend, parmi toutes les valeurs possibles, l'ensemble des valeurs réelles et celles-là seulement.

D'après (31), on a

$$(36) \qquad \begin{cases} \dfrac{\pi}{r_1 - r_0}(-dr + i\,dz) = \dfrac{dU}{\sqrt{U(1-U)}}, \\ \dfrac{\pi}{r_1 - r_0}(dr + i\,dz) = -\dfrac{dV}{\sqrt{V(1-V)}}, \end{cases}$$

c'est-à-dire

$$dU\frac{dr}{dU} = -\frac{r_1 - r_0}{2\pi}\left[\frac{dU}{\sqrt{U(1-U)}} + \frac{dV}{\sqrt{V(1-V)}}\right],$$
$$dU\frac{dz}{dU} = \frac{r_1 - r_0}{2i\pi}\left[\frac{dU}{\sqrt{U(1-U)}} - \frac{dV}{\sqrt{V(1-V)}}\right];$$

or, le périmètre du rectangle fondamental est défini par la condition que U soit réel, c'est-à-dire

$$U - V = 0.$$

Il en résulte $dU = dV$ et, par conséquent, sur le périmètre

$$(37) \qquad \begin{cases} \dfrac{dr}{dU} = -\dfrac{r_1 - r_0}{2\pi}\left[\dfrac{1}{\sqrt{U(1-U)}} + \dfrac{1}{\sqrt{V(1-V)}}\right], \\ \dfrac{dz}{dU} = \dfrac{r_1 - r_0}{2i\pi}\left[\dfrac{1}{\sqrt{U(1-U)}} + \dfrac{1}{\sqrt{V(1-V)}}\right]. \end{cases}$$

Soit $ds^2 = dr^2 + dz^2$; on a

$$\left(\frac{ds}{dU}\right)^2 = \left(\frac{r_1 - r_0}{\pi}\right)^2 \frac{1}{\sqrt{U(1-U)\,V(1-V)}},$$

Digitized by Google

de sorte que

$$(38)\qquad \begin{cases} \dfrac{dr}{ds} = -\dfrac{1}{2}\left[\dfrac{1}{\sqrt{V(1-V)}} + \dfrac{1}{\sqrt{U(1-U)}}\right], \\ \dfrac{dz}{ds} = \dfrac{1}{2i}\left[\dfrac{1}{\sqrt{U(1-U)}} - \dfrac{1}{\sqrt{V(1-V)}}\right]. \end{cases}$$

Ce sont là les cos des angles que forment avec les axes des r et des z, respectivement, les tangentes à l'une des courbes $U - V = \text{const.}$ et, en particulier, les diverses parties de la ligne brisée $U - V = 0$.

Prenons, pour premier axe, l'axe des z; pour second axe une droite Oy, perpendiculaire à l'axe des z et à celui des r. Considérons le déplacement ε'', w'' et soit $\mathfrak{P}''$ la pression normale qui lui correspond en chaque point des surfaces limites du cylindre. En désignant, pour un instant, par α, β, γ les angles que fait, avec les axes indiqués, la normale extérieure à la surface engendrée par la rotation de la courbe $U - V = \text{const.}$ autour de la droite $r = 0$, on obtient sans aucune peine les formules suivantes :

$$\begin{aligned} (\mathfrak{P}'' + N_1)\alpha + T_3\beta + T_2\gamma &= 0, \\ (\mathfrak{P}'' + N_2)\beta + T_3\alpha + T_1\gamma &= 0, \\ (\mathfrak{P}'' + N_3)\gamma + T_2\alpha + T_1\beta &= 0. \end{aligned}$$

Au reste, $\beta = 0$ pour la ligne particulière $U - V = 0$, et, de plus, $T_1 = T_3 = 0$, $N_1 = \lambda\theta'' + 2\mu\dfrac{\partial w''}{\partial z}$, $N_3 = \lambda\theta'' + 2\mu\dfrac{\partial \varepsilon''}{\partial r}$, $T_2 = \mu\left(\dfrac{\partial \varepsilon''}{\partial z} + \dfrac{\partial w''}{\partial r}\right)$, $N_2 = \lambda\theta'' + 2\mu\dfrac{\varepsilon''}{r}$ $\left(\text{avec } \theta'' = \dfrac{\partial \varepsilon''}{\partial r} + \dfrac{\varepsilon''}{r} + \dfrac{\partial w''}{\partial z}\right)$. Il résulte de ces relations

$$(39)\qquad \begin{cases} (N_1 + \mathfrak{P}'')\alpha + T_2\gamma = 0, \\ T_2\alpha + (N_3 + \mathfrak{P}'')\gamma = 0; \end{cases}$$

la troisième équation est satisfaite d'elle-même. Comme, d'ailleurs, $\alpha = \dfrac{dr}{ds}$, $\gamma = -\dfrac{dz}{ds}$, le système (39) peut être remplacé par

$$(40)\qquad \begin{cases} \left(\mathfrak{P}'' + \lambda\theta'' + 2\mu\dfrac{\partial w''}{\partial z}\right)dr - \mu\left(\dfrac{\partial \varepsilon''}{\partial z} + \dfrac{\partial w''}{\partial r}\right)dz = 0, \\ \mu\left(\dfrac{\partial \varepsilon''}{\partial z} + \dfrac{\partial w''}{\partial r}\right)dr - \left(\mathfrak{P}'' + \lambda\theta'' + 2\mu\dfrac{\partial \varepsilon''}{\partial r}\right)dz = 0, \end{cases}$$

Digitized by Google

et l'on en déduit le système équivalent

$$(41)\quad \begin{cases} (\mathfrak{P}'' + \lambda\theta'')(dr^2 + dz^2) + 2\mu\left(\dfrac{\partial\varepsilon''}{\partial r}dz^2 + \dfrac{\partial w''}{\partial z}dr^2\right) - 2\mu\left(\dfrac{\partial\varepsilon''}{\partial z} + \dfrac{\partial w''}{\partial r}\right)dr\,dz = 0, \\ \mu\left(\dfrac{\partial\varepsilon''}{\partial z} + \dfrac{\partial w''}{\partial r}\right)(dr^2 - dz^2) - 2\,dr\,dz\left(\mu\dfrac{\partial\varepsilon''}{\partial r} - \mu\dfrac{\partial w''}{\partial z}\right) = 0. \end{cases}$$

En tous les points de la ligne U — V = 0, chaque solution élémentaire satisfait à la condition

$$(42)\qquad \frac{\partial\varepsilon''}{\partial z} + \frac{\partial w''}{\partial r} = 0.$$

De plus, le long de ce contour, $dr\,dz$ est nul. La seconde équation (41) est donc vérifiée d'elle-même, tout le long du périmètre considéré. Il reste seulement à tenir compte de la première, d'après laquelle

$$(43)\qquad \mathfrak{P}'' = -\left(\lambda\theta'' + 2\mu\frac{\partial\varepsilon''}{\partial r}\frac{dz^2}{dr^2+dz^2} - 2\mu\frac{\partial w''}{\partial z}\frac{dr^2}{dr^2+dz^2}\right).$$

Dans le second membre de cette équation, nous aurons à introduire les expressions de ε'', w'' par des séries de termes tels que (2) et à y supposer r et z exprimées au moyen de U et V, ou plutôt de U seul, puisque, pour les points considérés, U = V. Nous aurons ainsi une équation de la forme

$$(44)\qquad \mathfrak{P}'' = \sum_n C_n\varphi_n(U),$$

$\varphi_n(U)$ désignant ce que devient la fonction

$$(45)\qquad \lambda\theta'' + 2\mu\frac{\partial\varepsilon''}{\partial r}\frac{dz^2}{dr^2+dz^2} + 2\mu\frac{\partial w''}{\partial z}\frac{dr^2}{dr^2+dz^2},$$

quand on y remplace ε'', w'' par les fonctions

$$(46)\qquad \varepsilon'' = \frac{\partial}{\partial r}\left(F_n + r\frac{\partial f_n}{\partial r}\right), \qquad w'' = \frac{\partial}{\partial z}\left(F_n + r\frac{\partial f_n}{\partial r} + 3f_n\right),$$

avec

$$(47)\quad \begin{cases} f_n = H_n(R)e^{-h_n z}, \\ F_n = \left[\left(h_n z - \frac{1}{2}\right)H_n(R) - RH_n'(R)\right]e^{-h_n z}, \qquad R = h_n r. \end{cases}$$

Digitized by Google

L'équation (44) doit avoir lieu pour toutes les valeurs de U correspondant à des points du périmètre du rectangle déjà défini, c'est-à-dire pour toutes les valeurs réelles de U. Toutefois, ce n'est pas tout à fait sous la forme (44) que nous prendrons la série qui doit représenter $\mathfrak{P}''$. Il n'arrive pas, en effet, que les intégrales

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_n \varphi_{n'} \, dU$$

s'annulent toutes quand $n - n' \gtrless 0$. Nous remplacerons alors les fonctions φ_n par d'autres fonctions $\psi_n(U)$, liées aux précédentes par des relations linéaires telles que celles-ci :

$$(48) \qquad \begin{cases} \psi_1(U) = a_1 \varphi_1(U), \\ \psi_2(U) = b_1 \varphi_1(U) + b_2 \varphi_2(U), \\ \psi_3(U) = c_1 \varphi_1(U) + c_2 \varphi_2(U) + c_3 \varphi_3(U), \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots; \end{cases}$$

nous écrirons l'équation (44) de cette manière

$$(49) \qquad \mathfrak{P}'' = \sum_n D_n \psi_n(U),$$

les coefficients D_n étant liés à C_n par des équations fort évidentes, et nous déterminerons les constantes

$$a_1; \quad b_1, \; b_2; \quad c_1, \; c_2, \; c_3; \quad \dots,$$

dont nous disposons, de telle façon que l'on ait

$$(50) \qquad \begin{cases} \displaystyle\int_{-\infty}^{+\infty} \psi_n(U) \psi_{n'}(U) \, dU = 0 \qquad n - n' \gtrless 0, \\ \displaystyle\int_{-\infty}^{+\infty} \psi_n^2(U) \, dU = 1. \end{cases}$$

Cela étant, de l'équation (49) on déduit

$$(51) \qquad \int_{-\infty}^{+\infty} \mathfrak{P}'' \psi_n(U) \, dU = D_n,$$

ce qui fait connaître les coefficients D_n.

Digitized by Google

Il résulte des équations (50)

$$a_1 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1^2(U)\, dU = \frac{1}{a_1}, \tag{52}$$

$$b_1 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1^2(U)\, dU + b_2 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1(U)\,\varphi_2(U)\, dU = 0, \tag{53}$$

$$b_1 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1(U)\,\varphi_2(U)\, dU + b_2 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_2^2(U)\, dU = \frac{1}{b_2}, \tag{54}$$

$$\left\{\begin{aligned} &c_1 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1^2(U)\, dU + c_2 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1\varphi_2\, dU + c_3 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1\varphi_3\, dU = 0,\\ &c_1 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1\varphi_2\, dU + c_2 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_2^2\, dU + c_3 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_2\varphi_3\, dU = 0,\\ &c_1 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_1\varphi_3\, dU + c_2 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_2\varphi_3\, dU + c_3 \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_3^2\, dU = \frac{1}{c_3}. \end{aligned}\right. \tag{55}$$

Ces relations font connaître d'abord a_1, puis b_1, b_2, puis c_1, c_2, c_3, ..., le tout au signe près, que l'on peut évidemment choisir à volonté.

Les coefficients D_n étant calculés comme il vient d'être indiqué, ε'', w'' sera connu, et ε', w', ε''', w''' l'étant déjà par hypothèse, le déplacement cherché, ε, w, en résultera immédiatement.

---

§ III.

Mode de calcul des diverses intégrales qui entrent dans les coefficients des séries.

Nous venons de voir comment se calculent algébriquement les coefficients D_n, qui achèvent de déterminer ε'', w''. Leur calcul numérique exige que l'on sache calculer numériquement les intégrales de la forme

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_n \varphi_{n'}\, dU, \tag{1}$$

pour les valeurs de n et de n', que nous aurons à considérer. Il

Digitized by Google

exige aussi que l'on sache calculer les intégrales

$$(2) \qquad \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi'' \varphi_n(U)\, dU,$$

à l'aide desquelles on peut obtenir les intégrales

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Phi'' \psi_n(U)\, dU,$$

qui sont celles dont nous avons besoin.

Nous allons d'abord étudier les intégrales (1)

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_n \varphi_{n'}\, dU.$$

Pour les mettre sous la forme la plus propre aux calculs, nous remplacerons la variable U par les variables r et z, que nous avions tout d'abord. Quand U varie de $-\infty$ à o, $r = r_1$, z variant depuis ∞ jusqu'à zéro. Pendant cette variation,

$$dU = \frac{dz}{\frac{dz}{dU}} = -\frac{\pi\, dz}{4(r_1 - r_0)} \left(e^{\frac{\pi z}{r_1 - r_0}} - e^{-\frac{\pi z}{r_1 - r_0}} \right).$$

Dans toutes nos recherches, nous aurons $r_1 - r_0 = \frac{1}{2} r_0$, et nous supposerons dans ce qui suit cette relation satisfaite. Nous aurons donc, en introduisant la variable ζ du § 2,

$$(3) \qquad dU = -\frac{1}{4} (e^{\zeta} - e^{-\zeta})\, d\zeta.$$

D'autre part, dr étant nulle, en désignant par ε''_n, w''_n, θ''_n les fonctions ε'', w'', θ'', calculées pour un terme de rang n, dans la série qui donne ε'', w'', θ'', ...

$$(4) \qquad \varphi_n(U) = \lambda \theta''_n + 2\mu \frac{\partial \varepsilon''_n}{\partial r}.$$

D'ailleurs

$$(5) \qquad \theta''_n = \frac{\partial^2 f_n}{dz^2}, \qquad \varepsilon''_n = \frac{\partial}{\partial r} \left(F_n + r \frac{\partial f_n}{\partial r} \right),$$

avec

$$(6) \qquad f_n = H_n(R) e^{-h_n z}, \qquad F_n + r \frac{\partial f_n}{\partial r} = \left(h_n z - \frac{1}{2} \right) H_n(R) e^{-h_n z},$$

Digitized by Google

d'après les formules (2) (§ 2). Il en résulte, pour $r = r_1$, puisque $H'_n(R_1) = 0$, $\lambda = \mu$,

$$\varphi_n(U) = 2\mu h_n^2 H_n(R) e^{-h_n z}(1 - h_n z); \tag{7}$$

mais $h_n = \frac{R_0^{(n)}}{r_0}$, de sorte que $h_n z = \frac{R_0^{(n)}}{2\pi}\zeta$, et, par suite,

$$\varphi_n(U) = \frac{2\mu}{r_0^2}(R_0^{(n)})^2 H_n(R) e^{-\frac{R_0^{(n)}}{2\pi}\zeta}\left(1 - \frac{R_0^{(n)}}{2\pi}\zeta\right). \tag{8}$$

Quant aux limites de ζ, dans le problème que nous étudions, la première est $2\zeta_0$, la seconde zéro; mais, au point de vue du calcul numérique, il n'y a aucune différence appréciable entre $2\zeta_0$ et ∞, les exponentielles $e^{-\frac{2R_0^{(n)}\zeta_0}{2\pi}}$ étant d'une petitesse extrême (c'est pourquoi nous avons pu inscrire pour U les limites $-\infty$ et $+\infty$, et non pas les valeurs finies qui correspondraient à $r = r_1$, $z = 2z_0$ ou $r = r_0$, $z = 2z_0$).

L'intégrale (1) est donc la suivante

$$\int_{-\infty}^{0} \varphi_n \varphi_{n'}\, dU + \int_{0}^{+\infty} \varphi_n \varphi_{n'}\, dU, \tag{9}$$

et l'on a

$$\int_{-\infty}^{0} \varphi_n \varphi_{n'}\, dU = -\left(\frac{\mu}{r_0^2}\right)^2 [R_0^{(n)} R_0^{(n')}]^2 \int_{\infty}^{0} H_n(R_1^{(n)}) H_{n'}(R_1^{(n')}) \times e^{-\frac{R_0^{(n)} + R_0^{(n')}}{2\pi}\zeta}(e^{\zeta} - e^{-\zeta})\left(1 - \frac{R_0^{(n)}}{2\pi}\zeta\right)\left(1 - \frac{R_0^{(n')}}{2\pi}\zeta\right) d\zeta,$$

ou bien

$$\left\{\begin{aligned} \int_{-\infty}^{0} \varphi_n \varphi_{n'}\, dU &= \left(\frac{\mu}{r_0^2}\right)^2 [R_0^{(n)} R_0^{(n')}]^2 H_n(R_1^{(n)}) H_n(R_1^{(n')}) \\ &\times \int_{0}^{\infty} (e^{\zeta} - e^{-\zeta}) e^{-\frac{R_0^{(n)} + R_0^{(n')}}{2\pi}\zeta}\left(1 - \frac{R_0^{(n)}}{2\pi}\zeta\right)\left(1 - \frac{R_0^{(n')}}{2\pi}\zeta\right) d\zeta. \end{aligned}\right. \tag{10}$$

U variant depuis zéro jusqu'à 1, dz est nulle et r varie de r_1 à r_0. Soit encore

$$\pi \frac{r_1 - r}{r_1 - r_0} = 2\pi \frac{r_1 - r}{r_0} = \rho. \tag{11}$$

Digitized by Google

Dans ce cas, $dU = \frac{dr}{\frac{dr}{dU}}$, c'est-à-dire

$$dU = -\frac{\pi}{2(r_1 - r_0)} \sin \pi \frac{r_1 - r}{r_1 - r_0} dr = \frac{\pi}{r_0} \frac{r_0}{2\pi} \sin \rho \, d\rho,$$

ou enfin

$$dU = \frac{1}{2} \sin \rho \, d\rho. \tag{12}$$

Quand r varie de r_1 à r_0, ρ varie de zéro à π, et nous en pourrons conclure $\int_0^1 \varphi_n \varphi_{n'} dU$, dès que nous aurons calculé $\varphi_n(U)$, $\varphi_{n'}(U)$, pour U compris entre zéro et 1. D'après l'équation (45) (§ 2), comme dz est alors nulle,

$$\varphi_n(U) = \lambda \theta_n'' - 2\mu \frac{\partial w_n''}{\partial z}, \tag{13}$$

mais

$$\frac{\partial w_n''}{\partial z} = \frac{d^2}{dz^2} \left(F_n + r \frac{\partial f_n}{\partial r} - 3 f_n \right), \tag{14}$$

de sorte que

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi_n(U) &= \mu \frac{d^2}{dz^2} \left(2 F_n + 2 r \frac{\partial f_n}{\partial r} + 7 f_n \right) \\ &= 2\mu \frac{d^2}{dz^2} \left(F_n - r \frac{\partial f_n}{\partial r} + 3{,}5 f_n \right). \end{aligned} \right. \tag{15}$$

Les formules (2) (§ 2) montrent alors que

$$\varphi_n(U) = (R_0^{(n)})^2 \frac{2\mu}{r_0^2} \left(1 + \frac{R_0^{(n)}}{2\pi} \zeta \right) e^{-\frac{R_0^{(n)}}{2\pi} \zeta} H_n(R), \tag{16}$$

ou, comme $\zeta = 0$,

$$\varphi_n(U) = \frac{2\mu}{r_0^2} (R_0^{(n)})^2 H_n(R) = \frac{2\mu}{r_0^2} (R_0^{(n)})^2 H_n \left(\frac{3}{2} R_0^{(n)} - \frac{R_0^{(n)}}{2\pi} \rho \right), \tag{17}$$

ou encore

$$\varphi_n(U) = \frac{2\mu}{r_0^2} (R_0^{(n)})^2 H_n \left[R_0^{(n)} \left(\frac{3}{2} - \frac{\rho}{2\pi} \right) \right]. \tag{17*}$$

Il reste donc

$$\left\{ \begin{aligned} \int_0^1 \varphi_n \varphi_{n'} dU = \left(\frac{2\mu}{r_0^2} \right)^2 (R_0^{(n)} R_0^{(n')})^2 \frac{1}{2} \int_0^\pi H_n \\ \times \left[\frac{R_0^{(n)}}{2\pi} (3\pi - \rho) \right] H_{n'} \left[\frac{R_0^{(n')}}{2\pi} (3\pi - \rho) \right] \sin \rho \, d\rho. \end{aligned} \right. \tag{18}$$

Digitized by Google

Nous avons à former enfin

$$\int_1^{+\infty} \varphi_n \varphi_{n'}\, dU. \tag{19}$$

Cette fois, c'est z qui varie, r restant égal à r_0,

$$dU = \frac{dz}{\frac{dz}{dU}}, \qquad \varphi_n = \frac{2\mu}{r_0^2}(R_0^{(n)})^2 H_n(R_0^{(n)}) e^{-\frac{R_0^{(n)}}{2\pi}\zeta}\left(1 - \frac{R_0^{(n)}}{2\pi}\zeta\right).$$

Nous aurons donc

$$\left\{\begin{aligned} \int_1^{\infty} \varphi_n \varphi_{n'}\, dU &= \left(\frac{\mu}{r_0^2}\right)^2 (R_0^{(n)} R_0^{(n')})^2 H_n(R_0^{(n)}) H_{n'}(R_0^{(n')}) \\ &\quad \times \int_0^{\infty} (e^{\zeta} - e^{-\zeta}) e^{-\frac{R_0^{(n)} + R_0^{(n')}}{2\pi}\zeta}\left(1 - \frac{R_0^{(n)}}{2\pi}\zeta\right)\left(1 - \frac{R_0^{(n')}}{2\pi}\zeta\right) d\zeta. \end{aligned}\right. \tag{20}$$

En réunissant ces expressions (10), (18) et (20), nous trouverons

$$\left\{\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_n \varphi_{n'}\, dU &= \left(\frac{\mu}{r_0^2}\right)^2 (R_0^{(n)} R_0^{(n')})^2 [H_n(R_1^{(n)}) H_{n'}(R_1^{(n')}) + H_n(R_0^{(n)}) H_{n'}(R_0^{(n')})] \\ &\quad \times \int_0^{\infty} (e^{\zeta} - e^{-\zeta}) e^{-\frac{R_0^{(n)} + R_0^{(n')}}{2\pi}\zeta}\left(1 - \frac{R_0^{(n)}}{2\pi}\zeta\right)\left(1 - \frac{R_0^{(n')}}{2\pi}\zeta\right) d\zeta \\ &\quad + 2\left(\frac{\mu}{r_0^2}\right)^2 (R_0^{(n)} R_0^{(n')})^2 \\ &\quad \times \int_0^{\pi} H_n\left[\frac{R_0^{(n)}(3\pi - \rho)}{2\pi}\right] H_{n'}\left[\frac{R_0^{(n')}(3\pi - \rho)}{2\pi}\right] \sin\rho\, d\rho. \end{aligned}\right. \tag{21}$$

Dans cette formule, la seule quadrature qui ne soit pas calculable sous forme finie, à l'aide des fonctions élémentaires, est la dernière

$$\int_0^{\pi} H_n\left[\frac{R_0^{(n)}}{2\pi}(3\pi - \rho)\right] H_{n'}\left[\frac{R_0^{(n')}}{2\pi}(3\pi - \rho)\right] \sin\rho\, d\rho. \tag{22}$$

Posons

$$R_0^{(n)}(3\pi - \rho) = \frac{5\pi}{2} R_0^{(n)}(1+\sigma), \tag{23}$$

c'est-à-dire

$$\frac{R_0^{(n)}}{2\pi}(3\pi - \rho) = \frac{5}{4} R_0^{(n)}(1+\sigma),$$

$$\rho = \frac{\pi}{2}(1 - 5\sigma), \qquad \sin\rho = \cos\frac{5\pi\sigma}{2}, \qquad 3\pi - \rho = \frac{5\pi}{2}(1+\sigma); \tag{24}$$

Digitized by Google

L'intégrale (22) devient ainsi

$$(25)\qquad \int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}} H_n\left[\frac{5}{4}R_0^{(n)}(1+\sigma)\right] H_{n'}\left[\frac{5}{4}R_0^{(n')}(1+\sigma)\right]\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,\frac{5\pi}{2}\,d\sigma.$$

Pour la calculer, le plus simple moyen consiste à développer le produit $H_n H_{n'}$ en série ordonnée suivant les puissances de σ, mais après avoir remplacé H_n, $H_{n'}$ par leurs expressions asymptotiques et sans toucher aux lignes trigonométriques qui entrent dans ces dernières.

Nous sommes donc conduits à faire usage des valeurs asymptotiques de H_n, $H_{n'}$ pour des valeurs assez grandes de l'argument. Nous avons posé (§ 1)

$$(26)\qquad H_n(R) = Y'(R_0^{(n)})\,I(R^{(n)}) - I'(R_0^{(n)})\,Y(R^{(n)}).$$

En faisant usage des valeurs asymptotiques de I, Y, I', Y', on trouve

$$(27)\quad H_n(R) = \frac{4}{R_0^{(n)}\sqrt{5}\sqrt{1+\sigma}}\left[\cos\frac{R_0^{(n)}}{4}(1+5\sigma) + \frac{13}{48\,R_0^{(n)}}\sin\frac{R_0^{(n)}}{4}(1+5\sigma)\right]^{(1)}.$$

Il s'ensuit

$$(28)\qquad H_n(R_1^{(n)}) = \frac{4}{R_0^{(n)}\sqrt{6}}\left(\cos\frac{R_0^{(n)}}{2} + \frac{13}{48\,R_0^{(n)}}\sin\frac{R_0^{(n)}}{2}\right),$$

car, pour $R = R_1$, $\sigma = \frac{1}{5}$. Pour plusieurs raisons, dans les calculs que nous aurons à faire, $\sin\frac{R_0^{(n)}}{2}\,\frac{13}{48\,R_0^{(n)}}$ est entièrement négligeable, et il reste

$$(29)\qquad H_n(R_1^{(n)}) = \frac{4}{R_0^{(n)}\sqrt{6}}\cos\frac{R_0^{(n)}}{2}.$$

Nous savons déjà que $H_n(R_0^{(n)}) = \frac{2}{R_0^{(n)}}$. L'expression (21) peut

(1) *Voir* la démonstration de cette formule au § IV.

Digitized by Google

donc être écrite

$$
(30)\quad
\left\{
\begin{aligned}
\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_n \varphi_{n'}\, dU = \left(\frac{\mu}{r_0^2}\right)^2 \Bigg\{ & 4 R_0^{(n)} R_0^{(n')} \left(\frac{2}{3}\cos\frac{R_0^{(n)}}{2}\cos\frac{R_0^{(n')}}{2} + 1\right) \\
& \times \int_0^{\infty} (e^{\zeta} - e^{-\zeta}) e^{-\frac{R_0^{(n)} + R_0^{(n')}}{2\pi}\zeta} \left(1 - \frac{R_0^{(n)}}{2\pi}\zeta\right) \\
& \times \left(1 - \frac{R_0^{(n')}}{2\pi}\zeta\right) d\zeta + 5\pi (R_0^{(n)} R_0^{(n')})^2 \\
& \times \int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}} H_n\left[\frac{5R_0^{(n)}}{4}(1+\sigma)\right] H_{n'}\left[\frac{5R_0^{(n')}}{4}(1-\sigma)\right] \cos\frac{5\pi\sigma}{2}\, d\sigma \Bigg\}.
\end{aligned}
\right.
$$

Ces quantités étant calculées, on en déduit sans peine a_1, b_1, b_2; c_1, c_2, c_3. Il reste ensuite à calculer les intégrales

$$
(31)\qquad \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi'' \varphi_n(U)\, dU.
$$

Observons d'abord que, sur les deux cylindres, c'est-à-dire pour les valeurs de U comprises dans l'intervalle de $-\infty$ à zéro, et dans celui de 1 à $+\infty$, Φ'' s'évanouit. Il est donc permis d'écrire, au lieu de (31),

$$
(32)\qquad \int_0^1 \Phi'' \varphi_n(U)\, dU.
$$

Pour les valeurs de U, comprises entre 0 et 1, r varie seul, et nous avons vu que

$$
(33)\qquad \varphi_n(U) = \frac{2\mu}{r_0^2} (R_0^{(n)})^2 H_n(R).
$$

De plus, en vertu des formules (26) et (43) (§ II),

$$
(34)\qquad \Phi'' = -\left(\lambda\theta'' + 2\mu\frac{\partial w''}{\partial z}\right),
$$

c'est-à-dire

$$
\Phi'' = -\mu \sum_{(m)} \left[\frac{\partial^2 f_m}{\partial z^2} + 2\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left(F_m + r\frac{\partial f_m}{\partial r} + 3 f_m\right)\right],
$$

f_m, F_m étant données par les relations (23) (§ II). L'expression

Digitized by Google

précédente s'écrit encore

$$(35) \qquad \mathfrak{P}'' = -2\mu \sum_{(m)} \frac{\partial^2}{\partial z^2}\left(F_m + r\frac{\partial f_m}{\partial r} + 3,5 f_m\right),$$

avec

$$(36) \qquad f_m = A_m p_m(S)\cos\frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0}, \qquad F_m = A_m P_m(S)\cos\frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0};$$

or

$$\frac{2\pi z}{r_0} = \zeta,$$

de sorte que

$$\frac{\partial}{\partial z} = \frac{2\pi}{r_0}\frac{\partial}{\partial\zeta}.$$

Il en résulte

$$(37) \qquad \mathfrak{P}'' = +\frac{8\pi^2\mu}{r_0^2}\sum_{(m)} A_m\left(\frac{m\pi}{2\zeta_0}\right)^2[P_m(S) + S p'_m(S) + 3,5 p_m(S)],$$

ou bien, à cause de l'expression trouvée pour A_m,

$$\mathfrak{P}'' = 4(P_0 - P_1)\sum_{(m)}\frac{1}{2m\pi}E_m \sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}[P_m(S) + S p'_m(S) + 3,5 p_m(S)],$$

ou enfin

$$(38) \qquad \frac{1}{P_0 - P_1}\mathfrak{P}'' = 4\sum_{(m)}\frac{E_m}{2m\pi}\sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}[P_m(S) + S p'_m(S) + 3,5 p_m(S)].$$

Dans l'intégrale (32), nous exprimerons toutes les variables au moyen de σ. Il est clair que

$$(39) \qquad S = \frac{S_0^{(m)} R^{(n)}}{R_0^{(n)}} = \frac{5 S_0^{(m)}}{4}(1+\sigma).$$

D'ailleurs, $S_0^{(m)} = \frac{m\pi^2 i}{\zeta_0}$. Soit, pour abréger l'écriture,

$$(40) \qquad G_m(S) = P_m(S) + S p'_m(S) + 3,5 p_m(S).$$

On en déduit

$$(41) \qquad \frac{\mathfrak{P}''}{P_0 - P_1} = 4\sum_m \frac{E_m}{2m\pi}\sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0} G_m\left[\frac{5 S_0^{(m)}}{4}(1+\sigma)\right];$$

Digitized by Google

en outre

$$\varphi_n(U) = \frac{2\mu}{r_0^2}(R_0^{(n)})^2 H_n\left[\frac{5R_0^{(n)}}{4}(1+\sigma)\right]; \tag{42}$$

enfin

$$dU = -\frac{5\pi}{4}\cos\frac{5\pi\sigma}{2}d\sigma, \tag{43}$$

et, quand U varie de o à 1, c'est-à-dire r de r_1 à r_0, σ varie de $-\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{5}$; on a donc

$$\left\{\begin{aligned}&\frac{1}{P_0-P_1}\int_0^1 \mathfrak{P}^{n}\varphi_n\,dU\\ &\quad=-\frac{10\pi\mu}{r_0^2}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}(R_0^{(n)})^2\sum_{(m)}\frac{E_m}{2m\pi}\sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}\,G_m\left[\frac{5S_0^{(m)}}{4}(1+\sigma)\right]\\ &\qquad\times H_n\left[\frac{5R_0^{(n)}}{4}(1+\sigma)\right]\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma.\end{aligned}\right. \tag{44}$$

Mais on a vu déjà que

$$\left\{\begin{aligned}&H_n\left[\frac{5R_0^{(n)}}{4}(1+\sigma)\right]\\ &\quad=\frac{4}{\sqrt{5}}\frac{1}{R_0^{(n)}}\frac{1}{\sqrt{1+\sigma}}\left[\cos\frac{R_0^{(n)}}{4}(1-5\sigma)+\frac{13}{48R_0^{(n)}}\sin\frac{R_0^{(n)}}{4}(1+5\sigma)\right];\end{aligned}\right. \tag{45}$$

l'équation (44) devient ainsi

$$\left\{\begin{aligned}&\frac{1}{P_0-P_1}\int_0^1 \mathfrak{P}^{n}\varphi_n\,dU\\ &\quad=2^3\sqrt{5}\,\pi R_0^{(n)}\frac{\mu}{r_0^2}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\sum_{(m)}\frac{E_m}{2m\pi}\sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}\,\frac{G_m\left[\frac{5S_0^{(m)}}{4}(1+\sigma)\right]}{\sqrt{1+\sigma}}\\ &\qquad\times\left[\cos\frac{R_0^{(n)}}{4}(1+5\sigma)+\frac{13}{48R_0^{(n)}}\sin\frac{R_0^{(n)}}{4}(1+5\sigma)\right]\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma.\end{aligned}\right. \tag{46}$$

Pour calculer cette intégrale, nous développerons l'expression

$$\sum_m \frac{E_m}{2m\pi}\sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}\,\frac{G_m\left[\frac{5S_0^{(m)}}{4}(1+\sigma)\right]}{\sqrt{1+\sigma}}, \tag{47}$$

suivant les puissances de σ, sous la forme

$$\overline{A_0'}+\overline{A_1'}\sigma+\overline{A_2'}\sigma^2+\ldots \tag{48}$$

Digitized by Google

et il restera

$$(49)\quad \left\{\begin{aligned} &\frac{1}{P_0 - P_1}\int_0^1 \mathfrak{P}^{n}\varphi_n\, dU \\ &= \frac{\mu\pi}{r_0^2}\,2^3\sqrt{5}\,R_0^{(n)}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\left(\overline{A'_0}+\overline{A'_1}\sigma+\overline{A'_2}\sigma^2\right) \\ &\quad\times\left[\cos\frac{R_0^{(n)}}{4}(1+5\sigma)+\frac{13}{48\,R_0^{(n)}}\sin(1+5\sigma)\,\frac{R_0^{(n)}}{4}\right]\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma. \end{aligned}\right.$$

L'expression contenue dans la seconde parenthèse s'écrit encore

$$(50)\quad \left\{\begin{aligned} &\left(\cos\frac{R_0^{(n)}}{4}+\frac{13}{48\,R_0^{(n)}}\sin\frac{R_0^{(n)}}{4}\right)\cos\frac{5\,R_0^{(n)}\sigma}{4} \\ &-\left(\sin\frac{R_0^{(n)}}{4}-\frac{13}{48\,R_0^{(n)}}\cos\frac{R_0^{(n)}}{4}\right)\sin\frac{5\,R_0^{(n)}\sigma}{4}. \end{aligned}\right.$$

On a donc

$$(51)\quad \left\{\begin{aligned} &\frac{r_0^2}{\mu}\,\frac{1}{P_0 - P_1}\int_0^1 \mathfrak{P}^{n}\varphi_n\, dU \\ &= 2^3\sqrt{5}\,R_0^{(n)}\pi\left[\left(\cos\frac{R_0^{(n)}}{4}+\frac{13}{48\,R_0^{(n)}}\sin\frac{R_0^{(n)}}{4}\right)\right. \\ &\quad\times\left(\overline{A'_0}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\cos\frac{5\,R_0^{(n)}\sigma}{4}\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma+\overline{A'_2}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\cos\frac{5\,R_0^{(n)}\sigma}{4}\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\sigma^2\,d\sigma\right) \\ &\quad\left.-\left(\sin\frac{R_0^{(n)}}{4}-\frac{13}{48\,R_0^{(n)}}\cos\frac{R_0^{(n)}}{4}\right)\overline{A'_1}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\sin\frac{5\,R_0^{(n)}\sigma}{4}\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,\sigma\,d\sigma\right]. \end{aligned}\right.$$

Nous verrons plus loin que les valeurs de $R_0^{(n)}$ sont données, avec une grande approximation, par la formule

$$(52)\qquad R_0^{(n)} = 2n\pi + \frac{1}{8n\pi}.$$

Il en résulte que $\frac{13}{48\,R_0^{(n)}}$ est un nombre assez petit, quel que soit n, et l'on peut, comme conséquence, remplacer

$$\cos\frac{R_0^{(n)}}{4}+\frac{13}{48\,R_0^{(n)}}\sin\frac{R_0^{(n)}}{4}$$

par

$$\cos\left(\frac{R_0^{(n)}}{4}-\frac{13}{48\,R_0^{(n)}}\right),$$

Digitized by Google

en ne négligeant qu'un terme de l'ordre du carré de $\frac{13}{96n\pi}$, c'est-à-dire de l'ordre de $\frac{2}{1000}$ au plus; de même, on peut remplacer

$$\sin\frac{R_0^{(n)}}{4} - \frac{13}{48R_0^{(n)}}\cos\frac{R_0^{(n)}}{4}$$

par

$$\sin\left(\frac{R_0^{(n)}}{4} - \frac{13}{48R_0^{(n)}}\right);$$

de plus, $\frac{R_0^{(n)}}{4}$ est voisin de $\frac{n\pi}{2} + \frac{1}{32n\pi}$, $\frac{13}{48R_0^{(n)}}$ est voisin de $\frac{13}{96n\pi}$; donc, à très peu près,

$$\frac{R_0^{(n)}}{4} - \frac{13}{48R_0^{(n)}} = \frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi}. \tag{53}$$

et, par suite,

$$\begin{aligned}&\frac{r_0^2}{\mu}\frac{1}{P_0 - P_1}\int_0^1 \mathfrak{P}^n \varphi_n\, dU\\ &= 2^3\sqrt{5}R_0^{(n)}\pi\left[\cos\left(\frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi}\right)\right.\\ &\qquad\times\left(\overline{A'_0}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\cos\frac{5R_0^{(n)}\sigma}{4}\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma + \overline{A'_2}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\cos\frac{5R_0^{(n)}\sigma}{4}\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,\sigma^2 d\sigma\right)\\ &\qquad\left.-\sin\left(\frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi}\right)\overline{A'_1}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\sin\frac{5R_0^{(n)}\sigma}{4}\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,\sigma\, d\sigma\right]\end{aligned} \tag{54}$$

Si n est impair

$$\begin{cases}\cos\left(\frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi}\right) = (-1)^{\frac{n}{2}}\cos\frac{10}{96n\pi}, & \text{très voisin de } (-1)^{\frac{n}{2}};\\ \sin\left(\frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi}\right) = (-1)^{\frac{n}{2}+1}\sin\frac{10}{96n\pi}, & \text{très voisin de } (-1)^{\frac{n}{2}+1}\frac{10}{96n\pi}.\end{cases} \tag{55}$$

Si n est impair

$$\begin{cases}\cos\left(\frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi}\right) = (-1)^{\frac{n-1}{2}}\sin\frac{10}{96n\pi}, & \text{très voisin de } (-1)^{\frac{n-1}{2}}\frac{10}{96n\pi};\\ \sin\left(\frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi}\right) = (-1)^{\frac{n-1}{2}}\cos\frac{10}{96n\pi}, & \text{très voisin de } (-1)^{\frac{n-1}{2}}.\end{cases} \tag{56}$$

Digitized by Google

Nous remarquerons encore que l'expression asymptotique (45), adoptée pour $H_n(R)$, peut être un peu simplifiée par les moyens que nous venons d'employer. On peut l'écrire en effet

$$(57)\qquad H_n(R) = \frac{4}{\sqrt{5}R_0^{(n)}}\frac{1}{\sqrt{1+\sigma}}\cos\left[\frac{R_0^{(n)}}{4}(1+5\sigma) - \frac{13}{48R_0^{(n)}}\right],$$

c'est-à-dire

$$(57^*)\qquad H_n(R) = \frac{4}{\sqrt{5}R_0^{(n)}}\frac{1}{\sqrt{1+\sigma}}\cos\left(\frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi} + \frac{5R_0^{(n)}\sigma}{4}\right).$$

Si n est pair, on en conclurait

$$H_n(R) = \frac{4}{\sqrt{5}R_0^{(n)}}\frac{1}{\sqrt{1+\sigma}}\left[(-1)^{\frac{n}{2}}\cos\frac{5R_0^{(n)}\sigma}{4} + (-1)^{\frac{n}{2}}\frac{10}{96n\pi}\sin\frac{5R_0^{(n)}\sigma}{4}\right],$$

ou bien

$$(58)\qquad H_n(R) = \frac{4(-1)^{\frac{n}{2}}}{\sqrt{5}R_0^{(n)}}\frac{1}{\sqrt{1+\sigma}}\left[\cos\frac{5R_0^{(n)}}{4}\sigma + \frac{10}{96n\pi}\sin\frac{5R_0^{(n)}}{4}\sigma\right] \qquad (n \text{ pair}).$$

Si n est impair

$$(59)\qquad H_n(R) = \frac{4(-1)^{\frac{n-1}{2}}}{\sqrt{5}R_0^{(n)}}\frac{1}{\sqrt{1+\sigma}}\left(\frac{10}{96n\pi}\cos\frac{5R_0^{(n)}}{4}\sigma - \sin\frac{5R_0^{(n)}}{4}\sigma\right) \qquad (n \text{ impair}).$$

Les trois intégrales qui figurent dans l'expression (54) peuvent être évaluées d'une manière fort simple. On a en effet, on le vérifie presque immédiatement,

$$(60)\qquad \int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\cos 5\alpha\sigma\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma = -\frac{\pi\cos\alpha}{5\left(\alpha^2-\frac{\pi^2}{4}\right)},$$

$$(61)\qquad \int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\sin 5\alpha\sigma\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma = \frac{\pi}{25}\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{\cos\alpha}{\alpha^2-\frac{\pi^2}{4}}\right),$$

$$(62)\qquad \int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\sigma^2\cos 5\alpha\sigma\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma = \frac{\pi}{125}\frac{d^2}{d\alpha^2}\left(\frac{\cos\alpha}{\alpha^2-\frac{\pi^2}{4}}\right),$$

Digitized by Google

de sorte que l'on a $\left(\text{pour } \alpha = \frac{R_0^{(n)}}{4}\right)$

$$(63)\quad \left\{\begin{aligned} &\frac{r_0^2}{\mu}\,\frac{1}{P_0 - P_1}\int_0^1 \mathfrak{P}^n \varphi_n\, dU \\ &\quad = -\frac{2^3\pi^2}{\sqrt{5}}\,R_0^{(n)}\left\{\cos\left(\frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi}\right)\left[A_0'\,\frac{\cos\alpha}{\alpha^2 - \frac{\pi^2}{4}} - \frac{1}{25}\,A_2'\,\frac{d^2}{d\alpha^2}\left(\frac{\cos\alpha}{\alpha^2 - \frac{\pi^2}{4}}\right)\right]\right. \\ &\qquad\qquad \left. + \frac{1}{5}\,A_1'\sin\left(\frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi}\right)\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{\cos\alpha}{\alpha^2 - \frac{\pi^2}{4}}\right)\right\}. \end{aligned}\right.$$

Le calcul est, sous cette forme, très facile, dès que l'on possède les valeurs de

$$A_0',\quad A_1',\quad A_2'.$$

Nous allons voir maintenant comment, à l'aide de l'expression (57*), on peut modifier la forme de la dernière quadrature indiquée dans l'égalité (30),

$$(64)\qquad 5\pi\left(R_0^{(n)}R_0^{(n')}\right)^2\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}} H_n(R)\,H_{n'}(R)\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma.$$

Le produit $H_n(R)H_{n'}(R)$, d'après (57*), peut se représenter ainsi

$$(65)\qquad \frac{2^4}{5R_0^{(n)}R_0^{(n')}}\,\frac{1}{1+\sigma}\cos\left(\frac{n\pi}{2} - \frac{10}{96n\pi} + \frac{5R_0^{(n}}{4}\sigma\right)\cos\left(\frac{n'\pi}{2} - \frac{10}{96n'\pi} + \frac{5R_0^{(n')}}{4}\sigma\right),$$

c'est-à-dire

$$(66)\quad \left\{\begin{aligned} &\frac{2^3}{5R_0^{(n)}R_0^{(n')}}\,\frac{1}{1+\sigma}\left\{\cos\left[\frac{(n+n')\pi}{2} - \frac{10}{96\pi}\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n'}\right) + \frac{5(R_0^{(n)} + R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]\right. \\ &\qquad\qquad \left. + \cos\left[\frac{(n-n')\pi}{2} - \frac{10}{96\pi}\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n'}\right) + \frac{5(R_0^{(n)} - R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]\right\}, \end{aligned}\right.$$

ou bien

$$\frac{2^3}{5R_0^{(n)}R_0^{(n')}}\,\frac{1}{1+\sigma}\left\{\cos\left[(n+n')\left(\frac{\pi}{2} - \frac{10}{96nn'\pi}\right) + \frac{5(R_0^{(n)} + R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]\right.$$
$$\left. + \cos\left[(n-n')\left(\frac{\pi}{2} + \frac{10}{96nn'\pi}\right) + \frac{5(R_0^{(n)} - R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]\right\}.$$

Digitized by Google

On en déduit, pour l'expression (64),

$$
(67)\quad
\left\{
\begin{aligned}
&2^3\pi R_0^{(n)} R_0^{(n')} \int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}} \cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,\frac{d\sigma}{1+\sigma}\\
&\quad\times\left[\cos(n+n')\left(\frac{\pi}{2}-\frac{10}{96nn'\pi}\right)\cos\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma\right.\\
&\qquad\left.-\cos(n-n')\left(\frac{\pi}{2}+\frac{10}{96nn'\pi}\right)\cos\frac{5(R_0^{(n)}-R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]\\
&-2^3\pi R_0^{(n)} R_0^{(n')} \int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}} \cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,\frac{d\sigma}{1+\sigma}\\
&\quad\times\left[\sin(n+n')\left(\frac{\pi}{2}-\frac{10}{96nn'\pi}\right)\sin\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma\right.\\
&\qquad\left.-\sin(n-n')\left(\frac{\pi}{2}+\frac{10}{96nn'\pi}\right)\sin\frac{5(R_0^{(n)}-R_0^{(n')})}{4}\sigma\right].
\end{aligned}
\right.
$$

Si $n'=2q-n$, q étant entier,

$$
(68)\quad
\left\{
\begin{aligned}
\cos(n+n')\left(\frac{\pi}{2}-\frac{10}{96nn'\pi}\right)&=(-1)^q\cos\frac{10q}{48n(2q-n)\pi},\\
\sin(n+n')\left(\frac{\pi}{2}-\frac{10}{96nn'\pi}\right)&=(-1)^{q+1}\sin\frac{10q}{48n(2q-n)\pi},\\
\cos(n-n')\left(\frac{\pi}{2}+\frac{10}{96nn'\pi}\right)&=(-1)^{n-q}\cos\frac{10(n-q)}{48n(2q-n)\pi},\\
\sin(n-n')\left(\frac{\pi}{2}+\frac{10}{96nn'\pi}\right)&=(-1)^{n-q}\sin\frac{10(n-q)}{48n(2q-n)\pi}.
\end{aligned}
\right.
$$

L'erreur ne serait que de l'ordre de 0,0044, si l'on écrivait simplement, dans ce cas, avec $n\leq q$,

$$
(69)\quad
\left\{
\begin{aligned}
\cos(n-n')\left(\frac{\pi}{2}-\frac{10}{96nn'\pi}\right)&=(-1)^q,\\
\sin(n-n')\left(\frac{\pi}{2}-\frac{10}{96nn'\pi}\right)&=(-1)^{q+1}\frac{10q}{48n(2q-n)\pi},\\
\cos(n-n')\left(\frac{\pi}{2}+\frac{10}{96nn'\pi}\right)&=(-1)^{n-q},\\
\sin(n-n')\left(\frac{\pi}{2}+\frac{10}{96nn'\pi}\right)&=(-1)^{n-q}\frac{10(n-q)}{48n(2q-n)\pi}.
\end{aligned}
\right.
$$

Digitized by Google

et l'on trouverait alors, pour la quantité (64),

$$(70)\quad \left\{\begin{aligned} &8\pi R_0^{(n)}R_0^{(n')}(-1)^q\left\{\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,\frac{d\sigma}{1+\sigma}\right.\\ &\qquad\times\left[\cos\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma+(-1)^n\cos\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]\\ &\qquad+\frac{10}{48n(2q-n)\pi}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,\frac{d\sigma}{1+\sigma}\\ &\qquad\times\left.\left[q\sin\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma+(-1)^{n+1}(n-q)\sin\frac{5(R_0^{(n)}-R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]\right\},\\ &\qquad(n'=2q-n),\qquad n\leqq q. \end{aligned}\right.$$

En remplaçant $\frac{1}{1+\sigma}$ par $1-\sigma+\sigma^2$, ce qui est une approximation suffisante, on en conclut enfin l'intégrale (64), quand $n'=2q-n$, sous la forme

$$(71)\quad \left\{\begin{aligned} &8\pi R_0^{(n)}R_0^{(n')}(-1)^q\left\{\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}(1+\sigma^2)\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\right.\\ &\qquad\times\left[\cos\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma+(-1)^n\cos\frac{5(R_0^{(n)}-R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]d\sigma\\ &\qquad-\frac{10}{48nn'\pi}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\sigma\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\\ &\qquad\times\left.\left[q\sin\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma+(-1)^{n+1}(n-q)\sin\frac{5(R_0^{(n)}-R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]d\sigma\right\}. \end{aligned}\right.$$

Si $n'=2q+1-n$,

$$(72)\quad \left\{\begin{aligned} &\cos(n+n')\left(\frac{\pi}{2}-\frac{10}{96nn'\pi}\right)=(-1)^q\sin\frac{10(2q+1)}{96nn'\pi},\\ &\sin(n+n')\left(\frac{\pi}{2}-\frac{10}{96nn'\pi}\right)=(-1)^q\cos\frac{10(2q+1)}{96nn'\pi},\\ &\cos(n-n')\left(\frac{\pi}{2}+\frac{10}{96nn'\pi}\right)=(-1)^{n-q}\sin\frac{10(2n-2q-1)}{96nn'\pi},\\ &\sin(n-n')\left(\frac{\pi}{2}+\frac{10}{96nn'\pi}\right)=(-1)^{n-q+1}\cos\frac{10(2n-2q-1)}{96nn'\pi}. \end{aligned}\right.$$

Digitized by Google

L'erreur sera négligeable, en prenant, dans ce cas,

$$(73)\quad \left\{\begin{array}{l} \cos(n+n')\left(\frac{\pi}{2}-\frac{10}{96nn'\pi}\right)=(-1)^q\frac{10(2q+1)}{96nn'\pi}, \\ \sin(n+n')\left(\frac{\pi}{2}-\frac{10}{96nn'\pi}\right)=(-1)^q, \\ \cos(n-n')\left(\frac{\pi}{2}+\frac{10}{96nn'\pi}\right)=(-1)^{n-q}\frac{10(2n-2q-1)}{96nn'\pi}, \\ \sin(n-n')\left(\frac{\pi}{2}+\frac{10}{96nn'\pi}\right)=(-1)^{n-q+1}. \end{array}\right.$$

L'expression (64) devient ainsi, pour $n+n'=2q+1$,

$$(74)\quad \left\{\begin{array}{l} 8\pi R_0^{(n)}R_0^{(n')}(-1)^q \\ \times\left\{\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\frac{10}{96nn'\pi}\left[(2q+1)\cos\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma+(-1)^n(n-n')\cos\frac{5(R_0^{(n)}-R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]\right. \\ \quad\times\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,\frac{d\sigma}{1+\sigma} \\ \quad\left.-\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\left[\sin\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma+(-1)^{n+1}\sin\frac{5(R_0^{(n)}-R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,\frac{d\sigma}{1+\sigma}\right\} \\ \qquad (n'=2q+1-n,\qquad n<q+1). \end{array}\right.$$

En remplaçant encore $\frac{1}{1+\sigma}$ par $1-\sigma+\sigma^2$, on en conclut l'expression de l'intégrale (64), quand $n'=2q+1-n$, sous la forme

$$(75)\quad \left\{\begin{array}{l} 8\pi R_0^{(n)}R_0^{(n')}(-1)^q \\ \times\left\{\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}\sigma\cos\frac{5\pi\sigma}{2}\left[\sin\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma+(-1)^{n+1}\sin\frac{5(R_0^{(n)}-R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]d\sigma\right. \\ \quad+\frac{10}{96nn'\pi}\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}}(1+\sigma^2)\cos\frac{5\pi\sigma}{2} \\ \quad\left.\times\left[(2q+1)\cos\frac{5(R_0^{(n)}+R_0^{(n')})}{4}\sigma+(-1)^n(2n-2q-1)\cos\frac{5(R_0^{(n)}-R_0^{(n')})}{4}\sigma\right]d\sigma\right\}. \end{array}\right.$$

Digitized by Google

l'intégration s'achèvera toujours à l'aide des relations

$$\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}} \cos 5\alpha\sigma \cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma = -\frac{\pi}{5}\,\frac{\cos\alpha}{\alpha^2-\frac{\pi^2}{4}},$$

$$\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}} \sigma\cos 5\alpha\sigma \cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma = \frac{\pi}{25}\,\frac{d}{d\alpha}\left(\frac{\cos\alpha}{\alpha^2-\frac{\pi^2}{4}}\right),$$

$$\int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}} \sigma^2\cos 5\alpha\sigma \cos\frac{5\pi\sigma}{2}\,d\sigma = \frac{\pi}{125}\,\frac{d^2}{d\alpha^2}\left(\frac{\cos\alpha}{\alpha^2-\frac{\pi^2}{4}}\right),$$

avec $\alpha = \frac{R_n^{(0)}+R_0^{(n)}}{4}$ ou $\alpha = \frac{R_0^{(n)}-R_0^{(n)}}{4}$.

§ IV.

Calculs numériques. — Vérifications. — Résultats des évaluations définitives.

On va, dans ce paragraphe, indiquer sommairement la marche suivie pour les calculs numériques, ainsi que les principaux résultats obtenus.

I. — *Racines de l'équation transcendante* (37), § I.

$$H'(R_1) = -I'(R_0)\,Y'(R_1) + I'(R_1)\,Y'(R_0) = 0.$$

Nous supposerons $2r_1 = 3r_0$, par suite $2R_1 = 3R_0$. La recherche des racines de l'équation ci-dessus se fera en construisant les courbes représentées par les fonctions $\frac{Y'_0}{I'_0}$, $\frac{Y'_1}{I'_1}$ [I'_0 désignant, pour abréger, $I'(R_0)$]. Les points d'intersection de ces courbes correspondent aux racines.

Cette construction, effectuée depuis $R_0 = 0$ jusqu'à $R_0 = 6$, $R_1 = 0$, $R_1 = 9$, montre que l'équation $H'(R_1) = 0$ n'a pas de racine dans cet intervalle.

Or, à partir de $R_0 = 6$, les expressions asymptotiques de I', Y', donnent une approximation assez satisfaisante des valeurs de ces fonctions. Ces expressions peuvent donc servir dans cette recherche.

Plus exactement, on peut utiliser les expressions des fonctions

Digitized by Google

de Bessel développées en séries procédant suivant les puissances négatives de la variable et analogues à celle de Stirling. Ce sont précisément ces expressions qui ont servi dans la construction des tables données par Lömmel pour I et I′ quand les valeurs de la variable sont supérieures à l'unité. En désignant (¹) par P_0, P_1, P_2, Q_0, Q_1, Q_2 les séries précédentes, on a pour I et I′ les expressions

$$(1) \qquad I(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}}\left[P_1 \cos\left(z - \frac{\pi}{4}\right) - Q_1 \sin\left(z - \frac{\pi}{4}\right)\right],$$

$$(2) \qquad -I'(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}}\left[P_2 \sin\left(z - \frac{\pi}{4}\right) + Q_2 \cos\left(z - \frac{\pi}{4}\right)\right].$$

Pour Y, on a

$$Y(z) = \pi\sqrt{\frac{2}{\pi z}}\left[P_0 \sin\left(z - \frac{\pi}{4}\right) + Q_0 \cos\left(z - \frac{\pi}{4}\right)\right].$$

Or, d'après les expressions données pour P_0 et Q_0, et en les rapprochant de celles données pour P_1 et Q_1, on trouve

$$P_0 = P_1, \qquad Q_0 = Q_1,$$

d'où

$$(3) \qquad Y(z) = \pi\sqrt{\frac{2}{\pi z}}\left[P_1 \sin\left(z - \frac{\pi}{4}\right) + Q_1 \cos\left(z - \frac{\pi}{4}\right)\right].$$

Il est aisé de trouver Y′.

En effet, si l'on différentie (1) (²), on trouve

$$I' = \sqrt{\frac{2}{\pi z}}\left[\left(P_1' - Q_1 - \frac{1}{2z}P_1\right)\cos\left(z - \frac{\pi}{4}\right) + \left(\frac{1}{2z}Q_1 - P_1 - Q_1'\right)\sin\left(z - \frac{\pi}{4}\right)\right];$$

par suite, en vertu de (2), on a identiquement

$$(4) \qquad \begin{cases} P_2 = P_1 + Q_1' - \dfrac{1}{2z}Q_1, \\ Q_2 = Q_1 - P_1' + \dfrac{1}{2z}P_1. \end{cases}$$

(¹) Ces désignations ne seront utilisées que dans ce paragraphe et ne peuvent faire confusion avec les significations toutes différentes données dans d'autres paragraphes à quelques-unes des lettres précédentes.

(²) Dans tout ce qui suit, les séries doivent être considérées comme limitées après un terme, de rang d'ailleurs quelconque, et regardées ainsi simplement comme des formules d'approximation.

Digitized by Google

Si l'on différentie (3), on a

$$Y' = \pi\sqrt{\frac{2}{\pi z}}\left[\left(P_1' - Q_1 - \frac{1}{2z}P_1\right)\sin\left(z-\frac{\pi}{4}\right) + \left(Q_1' - P_1 - \frac{1}{2z}Q_1\right)\cos\left(z-\frac{\pi}{4}\right)\right];$$

et, par suite, en vertu des identités (4),

$$(5)\qquad Y'(z) = \pi\sqrt{\frac{2}{\pi z}}\left[P_2\cos\left(z-\frac{\pi}{4}\right) - Q_2\sin\left(z-\frac{\pi}{4}\right)\right].$$

Dans ces conditions, l'équation à résoudre devient

$$T(R_0) = T\left(\frac{3R_0}{2}\right).$$

On a, pour T(R), l'expression

$$(6)\qquad T(R) = \pi\,\frac{Q_2\sin\left(R-\frac{\pi}{4}\right) - P_2\cos\left(R-\frac{\pi}{4}\right)}{Q_2\cos\left(R-\frac{\pi}{4}\right) + P_2\sin\left(R-\frac{\pi}{4}\right)}.$$

Posant

$$(7)\qquad \tan\varphi_0 = \frac{Q_2}{P_2},$$

il vient

$$(8)\quad T(R_0) = -\pi\cot\left(\varphi_0 + R_0 - \frac{\pi}{4}\right) = T\left(\frac{3R_0}{2}\right) = -\pi\cot\left(\varphi_1 + R_1 - \frac{\pi}{4}\right);$$

l'équation à résoudre est dès lors

$$\cot\left(\varphi_0 + R_0 - \frac{\pi}{4}\right) = \cot\left(\varphi_1 + R_1 - \frac{\pi}{4}\right),$$

d'où

$$(9)\qquad (\varphi_1 - \varphi_0) + (R_1 - R_0) = k\pi \qquad (k \text{ entier positif}).$$

Pour des valeurs un peu grandes de R_0, l'angle φ_0 est très petit, car P_2 est très voisin de 1, Q_2 est très voisin de

$$\frac{3}{8}\frac{1}{R_0}.$$

Si l'on adopte ces valeurs comme première approximation, on a, en remplaçant la tangente par l'arc,

$$\varphi_0 = \frac{3}{8}\frac{1}{R_0}, \qquad \varphi_1 = \frac{2}{8}\frac{1}{R_0}, \qquad \varphi_1 - \varphi_0 = -\frac{1}{8}\frac{1}{R_0};$$

l'équation (9) devient

$$(10)\qquad R_0 - \frac{1}{4}\frac{1}{R_0} = 2k\pi.$$

Digitized by Google

Les expressions de P_2, Q_2 sont d'ailleurs les suivantes :

$$(11)\quad \begin{cases} P_2 = 1 + [\bar{1},06888]\left(\frac{1}{z}\right)^2 - [\bar{1},15895]\left(\frac{1}{z}\right)^4 + \ldots, \\ Q_2 = [\bar{1},57403]\left(\frac{1}{z}\right) - [\bar{3},01089]\left(\frac{1}{z}\right)^3 + [\bar{2},40199]\left(\frac{1}{z}\right)^5 - \ldots; \end{cases}$$

$\frac{1}{4R_0}$ étant très petit, la valeur approchée de R_0 sera

$$R_0 = 2k\pi + \frac{1}{8k\pi}.$$

Si l'on voulait une valeur plus approchée de φ_0, il suffirait de calculer φ_0 par l'équation (7) en remplaçant, dans P_2 et Q_2, R_0 par la première approximation obtenue.

Il est en outre nécessaire de calculer les valeurs de l'expression

$$H(R) = Y'(R_0)I(R) - I'(R_0)Y(R)$$

pour les diverses racines R_0, R_1.

Or, en se reportant aux expressions (1), (2), (3) et (5), il vient

$$H(R) = \frac{2}{\sqrt{RR_0}}[(P_1P_2 + Q_1Q_2)\cos(R_0 - R) + (P_2Q_1 - P_1Q_2)\sin(R_0 - R)].$$

Pour $R = R_0$, on doit avoir

$$H(R_0) = \frac{2}{R_0},$$

donc

$$P_1P_2 + Q_1Q_2 = 1,$$

et l'expression de $H(R)$ se réduit à

$$H(R) = \frac{2}{\sqrt{RR_0}}[\cos(R_0 - R) + (P_2Q_1 - P_1Q_2)\sin(R_0 - R)].$$

Remarquons que, pour les valeurs de R_1, P_1 et P_2 peuvent être remplacées par l'unité, Q_1 par $\frac{1}{8R_1}$, Q_2 par $\frac{3}{8R_1}$.

Posant d'ailleurs

$$\operatorname{tang}\psi = Q_2 - Q_1 = \frac{1}{4R_1} = \frac{1}{6R_0},$$

on a

$$H(R_1) = \frac{2}{R_0}\sqrt{\frac{2}{3}}\sec\psi\cos\left(\psi - \frac{1}{2}R_0\right) = H(R_0)\sqrt{\frac{2}{3}}\sec\psi\cos\left(\psi - \frac{1}{2}R_0\right).$$

Digitized by Google

Pour des valeurs suffisamment grandes de R_0, on aura

$$H(R_1) = \pm \frac{2}{R_0}\sqrt{\frac{2}{3}}.$$

Le calcul montre que ψ est négligeable dès la deuxième racine, le signe $+$ correspond aux racines d'ordre pair.

Les trois premières racines, ainsi que les valeurs de $H(R_0)$, $H(R_1)$ et $H\left(\frac{5}{4}R_0\right)$ sont données par le Tableau suivant

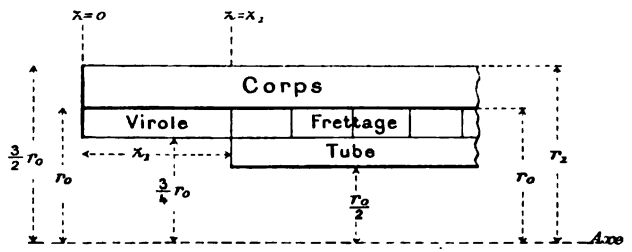
k.	1.	2.	3.
$2k\pi$	6,283 19	12,566 37	18,849 56
R_0	6,323 0	12,586 2	18,862 8
R_1	9,484 5	18,879 3	28,294 2
$H(R_0)$	0,3163	0,1589	0,1060
$H(R_1)$	−0,2583	+ 0,1298	− 0,0866
$H\left(\frac{R_0+R_1}{2}\right)$	0,006 13	− 0,1422	− 0,000 69

Racines du système d'équations (46), § I *et* (8), § II, *à savoir :*

$$(12)\qquad \begin{cases} P'(S_0) = S_0 p(S_0) - 1,5 p'(S_0), \\ P'(S_1) = S_1 p(S_1) - 1,5 p'(S_1), \\ P(S_1) + 1,5 p(S_1) + \left(S_1 - \frac{1,5}{S_1}\right) p'(S_1) = 0. \end{cases}$$

Ces trois équations déterminent les rapports $\frac{a}{A}$, $\frac{b}{B}$, $\frac{B}{A}$.

Fig. 3.



Leur solution n'offre d'autres difficultés que la longueur des calculs, qui doivent porter sur toutes les valeurs choisies pour S_0, S_1 et $\frac{1}{2}(S_0 + S_1)$; cette dernière variable sera, en effet, utilisée ultérieurement.

Tout d'abord, il y a lieu de fixer les valeurs de S_0.

Digitized by Google

Les dimensions relatives du canon étudié sont caractérisées par les valeurs suivantes :

$$r_0 = \text{calibre}, \qquad r_1 = 1{,}5\,r_0,$$

$$\frac{2z_0}{r_0} = \frac{40\pi}{3}, \qquad \frac{z_1}{r_0} = \frac{\pi}{2}, \qquad \zeta_0 = \frac{2\pi z_0}{r_0} = \frac{40\pi^2}{3}, \qquad \zeta_1 = \frac{2\pi z_1}{r_0} = \pi^2;$$

$S_0 = ikr_0 = \frac{im\pi r_0}{2z_0}$; pour $m = 1$, on a

$$\frac{1}{i}S_0 = 0{,}0750.$$

On est conduit à prendre pour m les seize valeurs successives $m = 1, 2, \ldots, 16$.

La résolution du système (12) exige le calcul préalable des fonctions I, I′, Y, Y′ pour toutes ces valeurs de la variable S.

On utilisera pour ces calculs les formules suivantes :

$$(13)\quad \begin{cases} I(S) = a_0 + a_1\left(\frac{1}{i}S\right)^2 + a_2\left(\frac{1}{i}S\right)^4 + \ldots, \\ iI'(S) = 2a_1\left(\frac{1}{i}S\right) + 4a_2\left(\frac{1}{i}S\right)^3 + 6a_3\left(\frac{1}{i}S\right)^5 + \ldots, \\ Y(S) = 2I(S)L\left(\frac{1}{2i}S\right) - 2Z(S) \qquad (L = \text{log népérien}), \\ Z(S) = b_0 + b_1\left(\frac{1}{i}S\right)^2 + b_2\left(\frac{1}{i}S\right)^4 + \ldots, \end{cases}$$

avec

$a_0 = 1$,		$b_0 = -0{,}57721$,
$\operatorname{Log} a_1 = \bar{1},39794$,	$\operatorname{Log} 2a_1 = \bar{1},69897$,	$\operatorname{Log} b_1 = \bar{1},02407$,
$\operatorname{Log} a_2 = \bar{2},19382$,	$\operatorname{Log} 4a_2 = \bar{2},79588$,	$\operatorname{Log} b_2 = \bar{2},15897$,
$\operatorname{Log} a_3 = \bar{4},63752$,	$\operatorname{Log} 6a_3 = \bar{3},41567$,	$\operatorname{Log} b_3 = \bar{4},73656$,
$\operatorname{Log} a_4 = \bar{6},83134$,	$\operatorname{Log} 8a_4 = \bar{5},73443$,	$\operatorname{Log} b_4 = \bar{5},00920$,
$\operatorname{Log} a_5 = \bar{8},83134$,	$\operatorname{Log} 10a_5 = \bar{7},83134$,	$\operatorname{Log} b_5 = \bar{7},06335$,
$\operatorname{Log} a_6 = \overline{10},67298$,		$\operatorname{Log} b_6 = \overline{10},94547$.

Y′ se tirera de la relation connue

$$IY' - YI' = \frac{2}{S}.$$

On donne ci-après les valeurs des coefficients calculés ainsi que celles de I, I′, Y, Y′, p, p', P, P′, pour les seize valeurs attribuées à S_0, S_1, $\frac{S_0 + S_1}{2}$:

Digitized by Google

m.	$\operatorname{Log}\frac{B}{A}$.	$\operatorname{Log}\left(-\frac{a}{A}\right)$.	$\operatorname{Log}\left(-\frac{b}{A}\right)$.
1	$\bar{3},34853$	$\bar{1},46028$	$\bar{3},17381$
2	$\bar{3},93770$	$\bar{1},46698$	$\bar{3},76730$
3	$\bar{2},27406$	$\bar{1},47227$	$\bar{2},11090$
4	$\bar{2},50646$	$\bar{1},47539$	$\bar{2},35336$
5	$\bar{2},68201$	$\bar{1},47594$	$\bar{2},53818$
6	$\bar{2},82228$	$\bar{1},47531$	$\bar{2},69885$
7	$\bar{2},93862$	$\bar{1},47170$	$\bar{2},83331$
8	$\bar{1},03709$	$\bar{1},46724$	$\bar{2},95350$
9	$\bar{1},12171$	$\bar{1},46150$	$\bar{1},06340$
10	$\bar{1},19598$	$\bar{1},45512$	$\bar{1},16547$
11	$\bar{1},26059$	$\bar{1},44769$	$\bar{1},26274$
12	$\bar{1},31657$	$\bar{1},43985$	$\bar{1},35499$
13	$\bar{1},36638$	$\bar{1},43174$	$\bar{1},44515$
14	$\bar{1},40726$	$\bar{1},42299$	$\bar{1},53207$
15	$\bar{1},44203$	$\bar{1},41481$	$\bar{1},61693$
16	$\bar{1},46628$	$\bar{1},40518$	$\bar{1},70178$

Il est à remarquer que ces Tableaux fournissent une Table des fonctions de Bessel d'argument imaginaire, d'indice 0, de première et de seconde espèce et de leurs dérivées pour des valeurs de l'argument variant en progression arithmétique de 0,075 à 1,8. La raison de cette progression est $\frac{1}{4}S_0 = 0,01875$.

On vérifie sans peine que les valeurs ci-dessus satisfont aux trois équations du système (12).

m.	$\frac{1}{i}S_0$.	$I(S_0)$.	$\operatorname{Log}I(S_0)$.	$iI'(S_0)$.	$\operatorname{Log}iI'(S_0)$.	$Y(S_0)$.	$\operatorname{Log}Y(S_0)$.	$\operatorname{Log}iY'(S_0)$.
1	0,0750	1,0014	0,00061	0,0375	$\bar{2},57438$	—5,4228	—(0,73422)	1,42205
2	0,1500	1,0056	0,00243	0,0752	$\bar{2},87628$	—4,0600	—(0,60853)	1,11241
3	0,2250	1,0127	0,00548	0,1132	$\bar{1},05388$	—3,2816	—(0,51609)	0,92483
4	0,3000	1,0226	0,00971	0,1517	$\bar{1},18099$	—2,7448	—(0,43851)	0,78619
5	0,3750	1,0355	0,01515	0,1908	$\bar{1},28058$	—2,3426	—(0,36970)	0,67381
6	0,4500	1,0510	0,02160	0,2307	$\bar{1},36305$	—2,0250	—(0,30643)	0,57799
7	0,5250	1,0701	0,02942	0,2717	$\bar{1},43409$	—1,7684	—(0,24758)	0,49289
8	0,6000	1,0921	0,03826	0,3137	$\bar{1},49651$	—1,5546	—(0,19162)	0,41590
9	0,6750	1,1172	0,04813	0,3571	$\bar{1},55279$	—1,3752	—(0,13837)	0,34490
10	0,7500	1,1456	0,05903	0,4020	$\bar{1},60423$	—1,2190	—(0,08600)	0,27877
11	0,8250	1,1775	0,07096	0,4486	$\bar{1},65186$	—1,0886	—(0,03687)	0,21595
12	0,9000	1,2130	0,08386	0,4971	$\bar{1},69644$	—0,9736	—($\bar{1}$,98838)	0,15624
13	0,9750	1,2521	0,09764	0,5478	$\bar{1},73862$	—0,8728	—($\bar{1}$,94091)	0,09914
14	1,0500	1,2952	0,11234	0,6008	$\bar{1},77869$	—0,7848	—($\bar{1}$,89476)	0,04397
15	1,1250	1,3423	0,12785	0,6563	$\bar{1},81710$	—0,7064	—(1,84905)	$\bar{1},99081$
16	1,2000	1,3937	0,14417	0,7147	$\bar{1},85409$	—0,6372	—(1,80428)	$\bar{1},93908$

Digitized by Google

m.	$\frac{1}{l}S_1$,	$I(S_1)$.	$\mathrm{Log}\,I(S_1)$.	$iI'(S_1)$.	$\mathrm{Log}\,iI'(S_1)$.	$Y(S_1)$.	$\mathrm{Log}\,Y(S_1)$.	$\mathrm{Log}\,iV'(S_1)$.
1	0,1125	1,0032	0,00139	0,0563	$\bar{2}$,75082	—1,6226	—(0,66489)	1.24207
2	0,2250	1,0127	0,00548	0,1132	$\bar{1}$,05388	—3,2816	—(0,51609)	0,92483
3	0,3375	1,0287	0,01229	0,1712	$\bar{1}$,23338	—2,5212	—(0,40333)	0,72749
4	0,4500	1,0510	0,02160	0,2307	$\bar{1}$,36305	—2,0250	—(0,30643)	0,57799
5	0,5625	1,0807	0,03371	0,2925	$\bar{1}$,46613	—1,6562	—(0,21911)	0,45360
6	0,6750	1,1172	0,04813	0,3571	$\bar{1}$,55279	—1,3752	—(0,13837)	0,34490
7	0,7875	1,1612	0,06491	0,4251	$\bar{1}$,62849	—1,1526	—(0,06168)	0,24678
8	0,9000	1,2130	0,08386	0,4971	$\bar{1}$,69644	—0,9736	—($\bar{1}$,98838)	0,15624
9	1,0125	1,2732	0,10490	0,5740	$\bar{1}$,75887	—0,8272	—($\bar{1}$,91761)	0,07134
10	1,1250	1,3423	0,12785	0,6563	$\bar{1}$,81710	—0,7064	—($\bar{1}$,84905)	$\bar{1}$,99081
11	1,2375	1,4211	0,15263	0,7450	$\bar{1}$,87216	—0,6054	—($\bar{1}$,78204)	$\bar{1}$,91377
12	1,3500	1,5102	0,17903	0,8409	$\bar{1}$,92474	—0,5206	—($\bar{1}$,71650)	$\bar{1}$,83955
13	1,4625	1,6106	0,20699	0,9450	$\bar{1}$,97543	—0,4492	—($\bar{1}$,65244)	$\bar{1}$,76752
14	1,5750	1,7232	0,23633	1,0583	0,02461	—0,3882	—($\bar{1}$,58906)	$\bar{1}$,69766
15	1,6875	1,8503	0,26724	1,1826	0,07284	—0,3382	—($\bar{1}$,52917)	$\bar{1}$,62735
16	1,8000	1,9895	0,29874	1,3171	0,11962	—0,2918	—($\bar{1}$,46509)	$\bar{1}$,56267

m.	$\frac{5}{4}(\frac{1}{l}S_0)$.	$I(\frac{5}{4}S_0)$.	$\mathrm{Log}\,I(\frac{5}{4}S_0)$.	$iI'(\frac{5}{4}S_0)$.	$\mathrm{Log}\,iI'(\frac{5}{4}S_0)$.	$Y(\frac{5}{4}S_0)$.	$\mathrm{Log}\,Y(\frac{5}{4}S_0)$.	$\mathrm{Log}\,iV'(\frac{5}{4}S_0)$.
1	0,09375	1,0022	0,00095	0,0469	$\bar{2}$,67142	—4,9802	—(0,69725)	1,32333
2	0,18750	1,0088	0,00380	0,0942	$\bar{2}$,97387	—3,6288	—(0,55976)	1,01009
3	0,28125	1,0199	0,00855	0,1420	$\bar{1}$,15232	—2,8642	—(0,45700)	0,81781
4	0,37500	1,0355	0,01515	0,1908	$\bar{1}$,28058	—2,3426	—(0,36970)	0,67384
5	0,46875	1,0557	0,02354	0,2409	$\bar{1}$,38180	—1,9566	—(0,29150)	0,55572
6	0,56250	1,0807	0,03371	0,2925	$\bar{1}$,46613	—1,6562	—(0,21911)	0,45360
7	0,65625	1,1106	0,04556	0,3461	$\bar{1}$,53921	—1,4174	—(0,15149)	0,36217
8	0,75000	1,1456	0,05903	0,4020	$\bar{1}$,60423	—1,2190	—(0,08600)	0,27877
9	0,84375	1,1861	0,07412	0,4605	$\bar{1}$,66327	—1,0584	—(0,02465)	0,20071
10	0,93750	1,2321	0,09065	0,5222	$\bar{1}$,71780	—0,9216	—($\bar{1}$,96454)	0,12739
11	1,03125	1,2840	0,10857	0,5873	$\bar{1}$,76882	—0,8054	—($\bar{1}$,90601)	0,05774
12	1,12500	1,3423	0,12785	0,6563	$\bar{1}$,81710	—0,7064	—($\bar{1}$,84905)	$\bar{1}$,99081
13	1,21875	1,4073	0,14839	0,7297	$\bar{1}$,86315	—0,6210	—($\bar{1}$,79309)	$\bar{1}$,92639
14	1,31250	1,4793	0,17006	0,8080	$\bar{1}$,90743	—0,5470	—($\bar{1}$,73799)	$\bar{1}$,86409
15	1,40625	1,5580	0,19257	0,8914	$\bar{1}$,95006	—0,4840	—($\bar{1}$,68485)	$\bar{1}$,80381
16	1,50000	1,6467	0,21661	0,9816	$\bar{1}$,99193	—0,4276	—($\bar{1}$,63104)	$\bar{1}$,74415

Digitized by Google

m.	$-p(S_0)$.	$-p(\frac{5}{4}S_0)$.	$-p(S_1)$.	Log $[-p(S_0)]$.	Log $[-p(\frac{5}{4}S_0)]$.	Log $[-p(S_1)]$.	$-ip'(\frac{5}{4}S_0)]$.	Log $[-ip'(S_0)]$.	Log $[-ip'(\frac{5}{4}S_0)]$.	Log $[-ip'(S_1)]$.
1	0,2809	0,2818	0,2827	$\bar{1}$,44861	$\bar{1}$,44990	$\bar{4}$,45126	0,0450	$\bar{2}$,70137	$\bar{2}$,65281	$\bar{2}$,62671
2	0,2710	0,2744	0,2776	$\bar{1}$,43296	$\bar{1}$,43842	$\bar{1}$,44342	0,0875	$\bar{2}$,99046	$\bar{2}$,94192	$\bar{2}$,91600
3	0,2581	0,2656	0,2725	$\bar{1}$,41176	$\bar{1}$,42424	$\bar{1}$,43539	0,1270	$\bar{1}$,15278	$\bar{1}$,10375	$\bar{1}$,07811
4	0,2436	0,2565	0,2684	$\bar{1}$,38671	$\bar{1}$,40909	$\bar{1}$,42871	0,1635	$\bar{1}$,26299	$\bar{1}$,21352	$\bar{1}$,18835
5	0,2282	0,2484	0,2656	$\bar{1}$,35824	$\bar{1}$,39515	$\bar{1}$,42426	0,1962	$\bar{1}$,34541	$\bar{1}$,29270	$\bar{1}$,27078
6	0,2128	0,2401	0,2650	$\bar{1}$,32791	$\bar{1}$,38039	$\bar{1}$,42328	0,2294	$\bar{1}$,41177	$\bar{1}$,36059	$\bar{1}$,33702
7	0,1966	0,2324	0,2655	$\bar{1}$,29354	$\bar{1}$,36624	$\bar{1}$,42410	0,2593	$\bar{1}$,46602	$\bar{1}$,41380	$\bar{1}$,39130
8	0,1806	0,2264	0,2682	$\bar{1}$,25668	$\bar{1}$,35488	$\bar{1}$,42852	0,2886	$\bar{1}$,51334	$\bar{1}$,46030	$\bar{1}$,43850
9	0,1642	0,2208	0,2727	$\bar{1}$,21531	$\bar{1}$,34400	$\bar{1}$,43574	0,3170	$\bar{1}$,55555	$\bar{1}$,50106	$\bar{1}$,48074
10	0,1483	0,2164	0,2794	$\bar{1}$,17104	$\bar{1}$,33526	$\bar{1}$,44621	0,3452	$\bar{1}$,59416	$\bar{1}$,53807	$\bar{1}$,51917
11	0,1308	0,2125	0,2876	$\bar{1}$,11645	$\bar{1}$,32736	$\bar{1}$,45871	0,3737	$\bar{1}$,63027	$\bar{1}$,57252	$\bar{1}$,55510
12	0,1135	0,2096	0,2979	$\bar{1}$,05496	$\bar{1}$,32139	$\bar{1}$,47408	0,4024	$\bar{1}$,66404	$\bar{1}$,60466	$\bar{1}$,58885
13	0,0966	0,2072	0,3100	$\bar{2}$,98514	$\bar{1}$,31639	$\bar{1}$,49142	0,4325	$\bar{1}$,69550	$\bar{1}$,63599	$\bar{1}$,62176
14	0,0758	0,2056	0,3242	$\bar{2}$,87981	$\bar{1}$,31302	$\bar{1}$,51084	0,4630	$\bar{1}$,72905	$\bar{1}$,66558	$\bar{1}$,65321
15	0,0565	0,2046	0,3409	$\bar{2}$,75167	$\bar{1}$,31091	$\bar{1}$,53264	0,4952	$\bar{1}$,76029	$\bar{1}$,69478	$\bar{1}$,68384
16	0,0336	0,2034	0,3589	$\bar{2}$,52641	$\bar{1}$,30835	$\bar{1}$,55495	0,5287	$\bar{1}$,79173	$\bar{1}$,72321	$\bar{1}$,71487

m.	$P(S_0)$.	$P(S_0)$.	Log $P(S_1)$.	Log $P(S_0)$.	Log $P(\frac{5}{4}S_0)$.	Log $P(S_1)$.	$iP'(S_0)$.	$iP'(\frac{5}{4}S_0)$.	Log $iP'(S_0)$.	Log $iP'(S_1)$.
1	0,9893	0,9911	0,9929	$\bar{1}$,99534	$\bar{1}$,99611	$\bar{1}$,99690	0,0965	0,0939	$\bar{2}$,98452	$\bar{2}$,97689
2	0,9704	0,9774	0,9844	$\bar{1}$,98696	$\bar{1}$,99006	$\bar{1}$,99318	0,1875	0,1829	$\bar{1}$,27290	$\bar{1}$,26971
3	0,9510	0,9660	0,9811	$\bar{1}$,97818	1,98499	$\bar{1}$,99172	0,2713	0,2656	$\bar{1}$,43346	$\bar{1}$,43370
4	0,9345	0,9563	0,9861	$\bar{1}$,97058	$\bar{1}$,98059	$\bar{1}$,99390	0,3479	0,3423	$\bar{1}$,54149	$\bar{1}$,54167
5	0,9229	0,9616	1,0011	$\bar{1}$,96515	$\bar{1}$,98299	0,00047	0,4178	0,4138	$\bar{1}$,62101	$\bar{1}$,63250
6	0,9165	0,9707	1,0256	$\bar{1}$,96213	$\bar{1}$,98709	0,01098	0,4829	0,4812	$\bar{1}$,68386	$\bar{1}$,70319
7	0,9166	0,9875	1,0607	$\bar{1}$,96218	$\bar{1}$,99454	0,02558	0,5418	0,5460	$\bar{1}$,73386	$\bar{1}$,76221
8	0,9228	1,0128	1,1070	$\bar{1}$,96511	0,00552	0,04416	0,5975	0,6090	$\bar{1}$,77631	$\bar{1}$,81502
9	0,9352	1,0460	1,1637	$\bar{1}$,97090	0,01953	0,06583	0,6499	0,6706	$\bar{1}$,81283	$\bar{1}$,86321
10	0,9542	1,0874	1,2314	$\bar{1}$,97964	0,03639	0,09040	0,7004	0,7227	$\bar{1}$,84533	$\bar{1}$,90856
11	0,9791	1,1372	1,3109	$\bar{1}$,99083	0,05584	0,11756	0,7481	0,7954	$\bar{1}$,87398	$\bar{1}$,95155
12	1,0112	1,1959	1,4020	0,00484	0,07770	0,14674	0,7942	0,8592	$\bar{1}$,89993	$\bar{1}$,99316
13	1,0492	1,2629	1,5063	0,02086	0,10171	0,17791	0,8400	0,9259	$\bar{1}$,92429	0,03397
14	1,0947	1,3396	1,6222	0,03930	0,12698	0,21010	0,8834	0,9948	$\bar{1}$,94616	0,07394
15	1,1468	1,4241	1,7559	0,05949	0,15354	0,24450	0,9272	1,0675	$\bar{1}$,96719	0,11393
16	1,2072	1,5216	1,9041	0,08178	0,18230	0,27969	0,9689	1,1439	$\bar{1}$,98628	0,15349

Digitized by Google

Calcul des coefficients A'_m *de la série de Fourier* [*équation* (19) (§ II).]

La justification des valeurs choisies pour m se trouve dans la recherche de la représentation de la pression discontinue sur $r = r_0$ [équation (15) (§ II)].

On a tout d'abord $\frac{\zeta_1}{2\zeta_0} = 0,0375$, de sorte que, évalué en grades, l'angle $\frac{\pi\zeta_1}{2\zeta_0}$ est égal à $7^c,5 \times m$.

Le tableau suivant donne les valeurs de $\frac{2}{m\pi}\sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}$, ou, ce qui est la même chose, de $-A'_m$ [(19) (§ II)]:

m.	$-A'_m$.	m.	$-A'_m$.
1	0,07483	9	0,06172
2	7431	10	5882
3	7345	11	5570
4	7226	12	5240
5	7074	13	4893
6	6891	14	4533
7	6678	15	4163
8	0,06438	16	0,03784

On trouve ainsi

$$\sum_{(m)} A'_m = -0,96803.$$

Pour $\zeta = 0$, on a

$$-\frac{\mathfrak{P}'}{P_0 - P_1} = \sum_{(m)} A'_m.$$

Or, pour $\zeta = 0$, on a [équation (12), (§ II)]

$$-\frac{\mathfrak{P}'}{P_0 - P_1} = -\frac{\gamma}{1+\gamma},$$

et l'on a

$$\frac{1}{1+\gamma} = \frac{\zeta_1}{2\zeta_0} = 0,0375, \qquad \frac{\gamma}{1+\gamma} = 1 - \frac{\zeta_1}{2\zeta_0} = 0,9625.$$

Pour $\zeta = 2\zeta_0$, on a

$$-\frac{\mathfrak{P}'}{P_0 - P_1} = \frac{1}{1+\gamma},$$

c'est-à-dire

$$-\frac{\mathfrak{P}'}{P_0 - P_1} = 0,0375.$$

Digitized by Google

Le calcul donne

$$\sum_{(m)} A'_m \cos m\pi = 0{,}0195.$$

Donc, pour $z = 2z_0$, la représentation donne une erreur qui n'atteint pas $\frac{2}{100}$ de $P_0 - P_1$.

On donne ci-après les valeurs de $\operatorname{Log} E_m$, dont l'expression est donnée par l'équation (20) (§ II) et celles de $\operatorname{Log} A'_m E_m$, qui seront fréquemment utilisées dans la suite :

m.	$\operatorname{Log} E_m(S_0)$.	$\operatorname{Log} - A'_m E_m(S_0)$.
1	0,35527	$\bar{1}$,22933
2	0,36744	$\bar{1}$,23848
3	0,38112	$\bar{1}$,24710
4	0,39577	$\bar{1}$,25464
5	0,41050	$\bar{1}$,26015
6	0,42125	$\bar{1}$,25952
7	0,43498	$\bar{1}$,25965
8	0,44491	$\bar{1}$,25366
9	0,45309	$\bar{1}$,24349
10	0,45792	$\bar{1}$,22742
11	0,46180	$\bar{1}$,20767
12	0,46445	$\bar{1}$,18377
13	0,46547	$\bar{1}$,15508
14	0,45955	$\bar{1}$,11596
15	0,45173	$\bar{1}$,07109
16	0,44382	$\bar{1}$,02179

Calcul des intégrales qui entrent dans l'équation (46) (§ III) *en vue de l'évaluation du déplacement* ε'', w'' (§ III).

Soit à calculer les deux intégrales (30) (§ III).

La première est calculable à l'aide des fonctions élémentaires. Posons, pour un instant,

$$\frac{R_0^{(n)}}{2\pi} = \alpha_n, \qquad \alpha_n + \alpha_{n'} = \alpha, \qquad I = \int e^{-(\alpha_n + \alpha_{n'})\zeta}(e^{\zeta} - e^{-\zeta})\,d\zeta;$$

on a

$$\frac{dI}{dx} = -\int e^{-\alpha\zeta}\,\zeta(e^{\zeta} - e^{-\zeta})\,d\zeta,$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = \int e^{-\alpha\zeta}\zeta^2(e^{\zeta} - e^{-\zeta})\,d\zeta.$$

Digitized by Google

On en conclut immédiatement

$$I = \left(\frac{1}{1-\alpha} e^{(1-\alpha)\zeta} + \frac{1}{1+\alpha} e^{-(1+\alpha)\zeta} \right)_0^{2\zeta_0}.$$

La valeur de $2\zeta_0$ est très grande; on a, en effet,

$$2\zeta_0 = 263;$$

donc

$$I \backsim \frac{2}{\alpha^2 - 1},$$

et, par suite, l'intégrale à calculer a pour expression

$$4\alpha_n\alpha_{n'} \frac{1 + 3(\alpha_n + \alpha_{n'})^2}{[(\alpha_n+\alpha_{n'})^2-1]^3} - 2\frac{1 + (\alpha_n + \alpha_{n'})^2}{[(\alpha_n+\alpha_{n'})^2-1]^2}.$$

Les log de cette intégrale sont donnés ci-dessous

n' \ n.	1.	2.	3.
1	$\bar{1}$,89814	$\bar{1}$,09510	$\bar{2}$,37033
2	$\bar{1}$,09510	$\bar{2}$,90773	$\bar{2}$,61909
3	$\bar{2}$,37033	$\bar{2}$,61909	$\bar{2}$,49220

$$\text{Log}\, 4\, R_0^{(n)} R_0^{(n')} \left(\frac{2}{3} \cos \frac{R_0^{(n)}}{2} \cos \frac{R_0^{(n')}}{2} + 1 \right).$$

n' \ n.	1.	2.	3.
1	2,42575	2,02575	2,90044
2	2,02575	3,02369	2,50044
3	2,90044	2,50044	3,37513

et enfin les Log du produit de ces deux fonctions sont

n' \ n.	1.	2.	3.
1	2,32389	1,12085	1,27077
2	1,12085	1,93142	1,11953
3	1,27077	1,11953	1,86733

La seconde intégrale (30) (§ III) a été mise, vers la fin du paragraphe précédent, sous une forme qui se prête aisément au calcul. Nous avons vu comment elle peut, avec une grande approximation, être remplacée par l'expression (75) (§ III). L'emploi de cette dernière et des formules (76) donne un moyen simple de parvenir aux nombres dont nous avions besoin.

Digitized by Google

En posant, pour abréger,

$$J_{nn'} = \int_{-\frac{1}{5}}^{+\frac{1}{5}} H_n(R)\, H_{n'}(R) \cos\frac{5\pi\sigma}{2}\, d\sigma,$$

nous trouvons

$$\begin{aligned} J_{1.1} &= 0{,}0070100, & J_{1.2} &= 0{,}0000648\,3,\\ J_{2.2} &= 0{,}0024166, & J_{2.3} &= 0{,}0000641\,1,\\ J_{3.3} &= 0{,}0011201, & J_{3.1} &= 0{,}0009322\,6. \end{aligned}$$

Il suffit de résumer tous les résultats précédents pour obtenir les intégrales (30). Elles sont inscrites dans le tableau suivant :

$$\begin{aligned} &\operatorname{Log}\frac{r_0^2}{\mu}\int_{-\infty}^{+\infty}\varphi_1\varphi_1\,dU = 2{,}58751, && \operatorname{Log}\frac{r_0^2}{\mu}\int_{-\infty}^{+\infty}\varphi_1\varphi_2\,dU = 1{,}29346,\\ &\operatorname{Log}\frac{r_0^2}{\mu}\int_{-\infty}^{+\infty}\varphi_2\varphi_2\,dU = 3{,}01618, && \operatorname{Log}\frac{r_0^2}{\mu}\int_{-\infty}^{+\infty}\varphi_2\varphi_3\,dU = 1{,}84467,\\ &\operatorname{Log}\frac{r_0^2}{\mu}\int_{-\infty}^{+\infty}\varphi_3\varphi_3\,dU = 3{,}36198, && \operatorname{Log}\frac{r_0^2}{\mu}\int_{-\infty}^{+\infty}\varphi_3\varphi_1\,dU = -(0{,}33806). \end{aligned}$$

Il reste alors à résoudre les équations (51), (52), (53), (54), (55), § II, ce qui donne les valeurs suivantes des coefficients cherchés :

$$\begin{aligned} &\operatorname{Log}\frac{\mu}{r_0^2}a_1 = \bar{2}{,}70624, && \operatorname{Log}\frac{\mu}{r_0^2}c_1 = \bar{4}{,}27663,\\ &\operatorname{Log}\frac{\mu}{r_0^2}b_1 = -(\bar{3}{,}19807), && \operatorname{Log}\frac{\mu}{r_0^2}c_2 = -(\bar{3}{,}14905),\\ &\operatorname{Log}\frac{\mu}{r_0^2}b_2 = \bar{2}{,}49212, && \operatorname{Log}\frac{\mu}{r_0^2}c_3 = \bar{2}{,}31946. \end{aligned}$$

Calcul de l'intégrale formant le premier membre de l'équation (46) (§ III).

Le calcul de cette intégrale exige d'abord celui des coefficients $\overline{A'_0}$, $\overline{A'_1}$, $\overline{A'_2}$.

Posons

$$\begin{aligned} \overline{A'_0} &= \frac{1}{4}\sum_{(m)}\frac{2}{m\pi}E_m \sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}\left(\frac{5S_0^{(m)}}{4i}\right)^{\frac{1}{2}}a_0^{(m)},\\ \overline{A'_1} &= -\frac{1}{4}\sum_{(m)}\frac{2}{m\pi}E_m \sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}\left(\frac{5S_0^{(m)}}{4i}\right)^{\frac{1}{2}}a_1^{(m)},\\ \overline{A'_2} &= \frac{1}{4}\sum_{(m)}\frac{2}{m\pi}E_m \sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}\left(\frac{5S_0^{(m)}}{4i}\right)^{\frac{1}{2}}a_2^{(m)}. \end{aligned}$$

Digitized by Google

Posons, pour un instant,

$$\varphi(S) = \left(\frac{1}{i}S\right)^{-\frac{1}{2}} G(S).$$

On aura, en posant $S = \frac{5}{4}S_0(1+\sigma)$,

$$\varphi = \varphi\left(\frac{5}{4}S_0\right) + \frac{5}{4}\left(\frac{1}{i}S_0\right)\sigma i\left(\frac{\partial\varphi}{\partial S}\right)_{\sigma=0} - \dots$$

Les expressions des dérivées de φ seront

$$i\varphi'(S) = \left(\frac{1}{i}S\right)^{-\frac{1}{2}}\left[iG'(S) - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{i}S\right)^{-1}G(S)\right],$$

$$\varphi''(S) = \left(\frac{1}{i}S\right)^{-\frac{1}{2}}\left[G'' + \left(\frac{1}{i}S\right)^{-1} iG' - \frac{3}{4}\left(\frac{1}{i}S\right)^{-2}G\right].$$

Les expressions de G sont, d'autre part [(40) (§ III)],

$$G(S) = P + 3,5p + Sp',$$

et celles de G', G'',

$$G'(S) = P' + 3,5p - Sp,$$

$$G''(S) = -G(S) - \frac{1}{S}G'(S) - 2p.$$

Les expressions de a_i seront enfin

$$a_0 = \varphi\left(\frac{5}{4}S_0\right),$$

$$a_1 = -\frac{5}{4}\left(\frac{1}{i}S_0\right) i\left(\frac{\partial\varphi}{\partial S}\right)_{\sigma=0},$$

$$a_2 = -\frac{1}{2}\left(\frac{5}{4}\frac{1}{i}S_0\right)^2\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial S^2}\right)_{\sigma=0}.$$

Ces formules et les Tableaux donnés plus haut pour P, p, P', p fournissent tout ce qu'il faut pour le calcul des intégrales dont il s'agit.

Digitized by Google

Voici les principaux résultats :

n.	1.	2.	3.
$\operatorname{Log}\left[-\frac{\cos\alpha}{\alpha^2-\frac{\pi^2}{4}}\right]\cdots\cdots$	$\bar{1},50355$	$\bar{1},13045$	$-(\bar{4},22457)$
$\operatorname{Log}\left[\frac{\cos\alpha}{\alpha^2-\frac{\pi^2}{4}}\right]'\cdots\cdots$	$\bar{1},40458$	$\bar{1},06170$	$\bar{2},70330$
$\operatorname{Log}\left[\frac{\cos\alpha}{\alpha^2-\frac{\pi^2}{4}}\right]''\cdots\cdots$	$\bar{1},40383$	$-(\bar{2},38238)$	$-(\bar{2},68456)$

m.	$G(\frac{5}{4}S_0)$.	$\operatorname{Log}[-iG'(\frac{5}{4}S_0)]$.	$-G''(\frac{5}{4}S_0)$.	$\operatorname{Log}a_0^{(m)}$.	$\operatorname{Log}a_1^{(m)}$.	$\operatorname{Log}a_2^{(m)}$.
1	+0,0006	$\bar{2},95424$	+0,3970	$\bar{3},29216$	$\bar{2},45541$	$\bar{2},30558$
2	+0,0006	$\bar{1},24254$	0,3841	$\bar{3},14165$	$\bar{2},88300$	$\bar{2},73206$
3	+0,0007	$\bar{1},40415$	0,3712	$\bar{3},15101$	$\bar{1},13042$	$\bar{2},97983$
4	−0,0028	$\bar{1},51348$	0,3541	$-(\bar{3},66014)$	$\bar{1},29555$	$\bar{1},14246$
5	+0,0002	$\bar{1},59028$	0,3339	$\bar{4},46556$	$\bar{1},42598$	$\bar{1},27175$
6	0,0013	$\bar{1},65973$	0,3302	$\bar{3},23888$	$\bar{1},53593$	$\bar{1},38310$
7	0,0039	$\bar{1},71105$	0,3225	$\bar{3},68252$	$\bar{1},62211$	$\bar{1},47097$
8	0,0039	$\bar{1},75656$	0,3123	$\bar{3},65353$	$\bar{1},69606$	$\bar{1},54446$
9	0,0057	$\bar{1},79602$	0,3051	$\bar{3},79276$	$\bar{1},76148$	$\bar{1},61036$
10	0,0064	$\bar{1},83784$	0,3079	$\bar{3},82019$	$\bar{1},82597$	$\bar{1},67718$
11	0,0081	$\bar{1},86433$	0,2927	$\bar{3},90183$	$\bar{1},87330$	$\bar{1},72241$
12	0,0096	$\bar{1},89487$	0,2882	$\bar{3},95669$	$\bar{1},92282$	$\bar{1},77209$
13	0,0106	$\bar{1},92449$	0,2858	$\bar{3},98235$	$\bar{1},96966$	$\bar{1},81943$
14	0,0123	$\bar{1},95211$	0,2834	$\bar{2},03085$	0,01345	$\bar{1},86341$
15	0,0121	$\bar{1},97918$	0,2812	$\bar{2},06891$	0,05502	$\bar{1},90473$
16	0,0167	0,00074	0,2767	$\bar{2},13467$	0,09121	$\bar{1},94089$

Digitized by Google

m.	$-A'_m E_m G(S_0)$.	$-A'_m E_m G(\frac{5}{4} S_0)$.	$-A'_m E_m G(S_1)$.
1	0,000407	0,000102	—0,000204
2	0,001247	0,000104	—0,000987
3	0,002773	0,000133	—0,002314
4	0,004835	—0,000503	—0,004062
5	0,007481	+0,000036	—0,006098
6	0,010107	0,000236	—0,008852
7	0,013819	0,000709	—0,011364
8	0,017055	0,000699	—0,014168
9	0,020654	0,000999	—0,017028
10	0,023736	0,001080	—0,019971
11	0,027278	0,001307	—0,022552
12	0,030352	0,001466	—0,025115
13	0,032513	0,001515	—0,027297
14	0,034832	0,001606	—0,028903
15	0,035489	0,001425	—0,029752
16	0,036454	0,001756	—0,030020

m.	$-A'_m E_m \left(\frac{5 S_0^{(m)}}{4 i}\right)^{\frac{1}{2}} a_0^{(m)}$.	$-A'_m E_m \left(\frac{5 S_0^{(m)}}{4 i}\right)^{\frac{1}{2}} a_1^{(m)}$.	$-A'_m E_m \left(\frac{5 S_0^{(m)}}{4 i}\right)^{\frac{1}{2}} a_2^{(m)}$.
1	0,000102	0,00148	0,00105
2	0,000104	0,00573	0,00405
3	0,000133	0,01264	0,00893
4	0,000503	0,02174	0,01528
5	0,000036	0,03324	0,02330
6	0,000236	0,04683	0,03294
7	0,000709	0,06170	0,04357
8	0,000699	0,07713	0,05441
9	0,000999	0,09291	0,06561
10	0,001080	0,10949	0,07773
11	0,001307	0,12236	0,08645
12	0,001466	0,13557	0,09582
13	0,001515	0,14713	0,10411
14	0,001606	0,15434	0,10925
15	0,001636	0,15849	0,11214
16	0,001756	0,15887	0,11239
$H \bar{A}'_k =$	0,012881	1,33965	0,94703
$\text{Log} \frac{8\pi^2}{\sqrt{5}} \bar{A}'_k =$	$\bar{1}$,055575	—(1,07282)	0,92220

Digitized by Google

On en déduit, en définitive, les nombres suivants :

n.	1.	2.	3.
$\operatorname{Log}\frac{r_0^2}{\mu}\int_0^1 \frac{\mathfrak{P}''\varphi_n\, dU}{P_0-P_1}\cdots$	$+0,58124$	$+\bar{1},37635$	$-(0,35201)$

Calcul des coefficients D. (*Équation* (49), § II.)

Les valeurs de D_1, D_2, D_3 se calculent alors sans peine; voici leurs logarithmes

$$\operatorname{Log}\frac{1}{P_1-P_0}D_1 = \bar{1},28748,$$

$$\operatorname{Log}\frac{1}{P_1-P_0}D_2 = \bar{3},13704,$$

$$\operatorname{Log}\frac{1}{P_1-P_0}D_3 = -(\bar{2},66788).$$

VÉRIFICATIONS.

Il importe de rechercher sur quelle approximation l'on peut compter dans la représentation de $\mathfrak{P}''$. On a vu que, (41) (§ III)

$$\mathfrak{P}'' = (P_0-P_1)\sum G_m(S)\frac{2}{m\pi}\sin\frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0}E_m.$$

Le calcul de cette expression donne, pour les trois valeurs

$$S = S_0, \qquad S = \frac{5}{4}S_0, \qquad S = S_1,$$

S.	S_0.	$\frac{5}{4}S_0$.	S_1.
$\frac{1}{P_0-P_1}\mathfrak{P}''\cdots$	$+0,2990$	$+0,0127$	$-0,2487$ (1)

Calculons, d'autre part, $\mathfrak{P}''$ pour $R = R_0$, $R = \frac{5}{4}R_0$, $R = \frac{5}{4}R_1$, en utilisant l'expression (49) (§ III) et les valeurs de ψ_1, ψ_2, ... D_1, D_2, ... qui viennent d'être indiquées.

(1) L'expression analogue, correspondant à la face $z = 2z_0$, au lieu de $z = 0$, donne pour

S.	S_0.	$\frac{5}{4}S_0$.	S_1.
$\frac{1}{P_0-P_1}\mathfrak{P}''_{2z_0}\cdots$	$-0,0183$	$-0,0002$	$+0,0155$

Digitized by Google

Nous trouvons, pour

$$R = R_0,$$

n.	1.	2.	3.
$\text{Log}\psi_n\ldots.$	0,10921	0,18292	0,17837

$$R = \frac{5}{4} R_0,$$

$\text{Log}\psi_n\ldots.$	$\bar{2}$,59073	—(0,33973)	$\bar{2}$,92054

$$R = R_1,$$

$\text{Log}\psi_n\ldots.$	—(0,37341)	0,46932	0,48181

On en conclut

R.	R_0.	$\frac{1}{4} R_0$.	R_1.
$\sum_{(n)} \frac{1}{P_0 - P_1} D_n\psi_n\ldots.$	+0,1812	—0,00068	—0,3128

Si la représentation était d'une précision absolue, avec le nombre de termes des séries que nous avons utilisés, les valeurs de $\mathfrak{P}''$, calculées de deux manières différentes, comme nous venons de l'expliquer, seraient les mêmes.

La comparaison des nombres trouvés fait ressortir les erreurs suivantes :

$r\ldots$	r_0.	$\frac{1}{4} r_0$.	r_1.
	$0{,}12(P_0 - P_1)$	$0{,}012(P_0 - P_1)$	$0{,}06(P_0 - P_1)$

On voit que l'erreur atteint, sur $r = r_0$ et au point $z = 0$, les $\frac{12}{100}$ de $P_0 - P_1$. Mais une erreur aussi importante ne se présente qu'en ce seul point.

Pour $\zeta = 0$, quand $r = \frac{5}{4} r_0$, ou $r = r_1$, l'erreur est bien plus faible et sans importance.

Pour $r = r_0$, $\zeta > 0$, la pression normale correspondant au déplacement ε'', w'', est entièrement négligeable. Déjà, elle apparaît telle au point $\zeta = 1$, pour lequel nous l'avons calculée; elle est bien moins sensible encore pour des valeurs plus grandes de ζ, les exponentielles qui figurent dans chaque terme de la série se rapprochant de zéro avec une grande rapidité.

Ainsi, lorsque les séries sont bornées comme nous l'avons fait, le défaut le plus grave de la représentation se produit au point $r = r_0$,

Il est de beaucoup plus important que partout ailleurs et cepen-

Digitized by Google

dant ajoute à la pression appliquée en ce point une fraction de la différence $P_0 - P_1$ dont il serait sans intérêt pratique de tenir compte. Nous considérons donc la vérification comme satisfaisante et ne chercherons pas à augmenter l'approximation, en prenant, dans nos séries, quelques termes de plus. Leur calcul, algébriquement très facile, offre des longueurs hors de proportion avec l'avantage qu'on en peut attendre.

Calcul des dilatations principales sur $r = r_0$.

On trouve aisément que la surface des dilatations a pour équation

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial r} X^2 + \frac{\varepsilon}{r} Y^2 + \frac{\partial w}{\partial z} Z^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r}\right) ZX = 1,$$

X, Y, Z étant les coordonnées courantes d'un de ses points. Pour $r = r_0$, $z = 0$ ou $r = r_1$, on a

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} = 0,$$

d'après la condition d'orthogonalité des pressions appliquées sur ces surfaces. Les dilatations principales y sont donc représentées de cette manière :

suivant la circonférence	$\frac{\varepsilon}{r}$
suivant le rayon.....	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial r}$
suivant l'axe.....	$\frac{\partial w}{\partial z}$

Les expressions de ces dilatations, pour les seuls déplacements ε', w', sont, sur $r = r_0$,

$$\mu \frac{\varepsilon'}{r} = (P_0 - P_1) \frac{\zeta_0}{\pi} \sum_{(m)} E'_m \cos \frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0},$$

avec

$$E'_m = \frac{E_m}{m^2\pi^2} \sin \frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0} \left[i P'_m + \frac{1}{i} S p_m \right]_{S = S_0},$$

$$2\mu \frac{\partial \varepsilon'}{\partial r} = (P_1 - P_0) \sum_{(m)} \frac{2}{m} E_m \sin \frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0} \left[\frac{1}{E_m} - \frac{1}{2} p_m(S_0) \right] \cos \frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0},$$

$$2\mu \frac{\partial w'}{\partial z} = (P_1 - P_0) \sum_{(m)} \frac{2}{m\pi} E_m \sin \frac{m\pi\zeta_1}{2\zeta_0} [P_m + S p'_m + 3 p_m]_{S = S_0} \cos \frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0}.$$

Digitized by Google

Pour diverses valeurs de ζ, nous avons calculé ces dilatations principales et obtenu ce qui suit :

ζ.	ζ_1.	1,001.
$\frac{\mu}{P_1-P_0}\frac{\varepsilon'}{r}$	−0,60248	−1,08695
$\frac{\mu}{P_1-P_0}\frac{\partial w'}{\partial z}$	0,12389	0,36553
$\frac{\mu}{P_1-P_0}\frac{\partial \varepsilon'}{\partial r}$	0,34200	0,59551
$\frac{\mu}{P_1-P_0}\frac{\partial w''}{\partial z}$	»	0,00461

De plus, $\frac{\varepsilon''}{r}$ et $\frac{\partial \varepsilon''}{\partial r}$ sont négligeables.

Il est intéressant de calculer $\frac{\partial \varepsilon'}{\partial z}$ et d'en chercher le maximum. Ce maximum correspond à très peu près, w étant toujours très petit par rapport à z, au point d'inflexion de la courbe des ε, ou, si l'on veut, au maximum de la rotation moyenne.

Or

$$\frac{\partial \varepsilon'}{\partial z} = -\frac{P_1-P_0}{2\mu}\sum_{(m)} E'_m m \sin\frac{m\pi\zeta}{2\zeta_0}.$$

Il en résulte le Tableau suivant

$\left(\frac{\pi\zeta}{2\zeta_0}\right)^{\text{grades}}$.	7.	7,5.	8.	9.	10.
$\frac{2\mu}{P_1-P_0}\frac{\partial \varepsilon'}{\partial z}$	0,16128	0,16467	0,1667	0,1667	0,16165
$\frac{\zeta}{\zeta_1}$	0,93	1	1,067	1,2	1,33

Il y a donc un point d'inflexion un peu au delà de $\zeta = \zeta_1$, c'est-à-dire de l'extrémité de la virole.

Déplacements de Lamé, ε''', w'''. [Équations (24) et (25) (§ II.)]

$$\mu\frac{\varepsilon'''}{r_0} = 1,14P_0 + 1,0922\,(P_1-P_0) - 0,1F,$$

$$\mu\frac{\partial w'''}{\partial z} = 0,4\,F - 0,16P_1 + 0,006(P_1-P_0),$$

$$\mu\frac{\partial \varepsilon'''}{\partial r} = 0,66P_1 + 0,02475(P_1-P_0) - 0,1F.$$

Digitized by Google

De l'ensemble de ces formules on déduit les dilatations principales relatives aux points $\zeta = 1$, $\zeta = \zeta_1$, pour le déplacement total ε, w, après lequel le tube est en équilibre sous les pressions que nous avons considérées. Ce sont

$$\zeta = 1{,}00,$$

$$\mu \frac{\varepsilon}{r} = -1{,}1297\,(P_1 - P_0) - 0{,}1\,F + 1{,}14\,P_1,$$

$$\mu \frac{\partial w}{\partial z} = 0{,}37614\,(P_1 - P_0) + 0{,}4\,F - 0{,}16\,P_1,$$

$$\mu \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} = 0{,}6203\,(P_1 - P_0) - 0{,}1\,F - 0{,}66\,P_1,$$

$$\text{pour } \zeta = \zeta_1,$$

$$\mu \frac{\varepsilon}{r} = 1{,}14\,P_1 - 0{,}61525\,(P_1 - P_0) - 0{,}1\,F,$$

$$\mu \frac{\partial w}{\partial z} = -0{,}16\,P_1 + 0{,}1299\,(P_1 - P_0) + 0{,}4\,F,$$

$$\mu \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} = -0{,}66\,P_1 + 0{,}367\,(P_1 - P_0) - 0{,}1\,F.$$

§ V.

Discussion des résultats obtenus. — Conclusions.

Plusieurs auteurs ont énoncé comme un postulatum le principe suivant :

« Dans toutes les constructions métalliques, il est de règle de ne faire travailler une pièce de métal dans deux directions différentes que quand il est impossible de faire autrement...

» Il est mauvais que le tube des bouches à feu subisse deux efforts perpendiculaires, qui se superposent...

» La résistance longitudinale est, dans les canons frettés à l'aide de fils d'acier, plus rationnellement assurée que dans aucun autre type; ceci résulte d'un principe de la plus haute importance, et qu'il serait d'ailleurs tout aussi bon d'appliquer aux autres types de canons frettés, le principe de la séparation des résistances...

» La composition des forces de directions rectangulaires entre elles » (tendant, soit à déculasser la bouche à feu, soit à l'ouvrir suivant une génératrice) « donne lieu au voisinage du fond de l'âme à des efforts d'autant plus complexes que la dilatation y varie brusquement.

Digitized by Google

» En effet, tandis que les parois du fond de l'âme sont soumises à la pression des gaz dans le sens des rayons, le logement de la vis y est soustrait, et des portions de métal, immédiatement voisines de celles qui ont à résister aux deux efforts que nous venons de signaler, sont soumises uniquement à l'effort longitudinal.

» Il est donc bien difficile d'apprécier la nature et l'intensité des efforts qui agissent aux points d'appui de la vis, et, en fait, la plupart des déculassements qui ont été observés étaient imprévus et n'ont pu être expliqués d'une manière satisfaisante : presque toujours ils ont eu lieu sous l'action d'efforts très inférieurs à la résistance que le logement de la culasse pouvait opposer à une simple traction longitudinale.

» Nos canons frettés résistent au déculassement grâce à la seule épaisseur de leur tube, car on s'accorde à ne pas compter pour cela sur l'accroissement de résistance que leur apportent les frettes à ce point de vue, et qui est peu considérable.

» Qu'on prenne donc un de nos canons actuels, qu'on remplace ses frettes par des fils, sauf la très faible épaisseur consacrée au manchon qui les protégera contre les coups et les intempéries, et l'on aura un canon doué d'une résistance transversale supérieure, et d'une résistance longitudinale égale à celle du premier. Le frettage en fil n'aura rien changé à ce dernier élément (1). »

La plupart des affirmations qui précèdent sont loin de présenter les caractères de l'évidence.

Adoptons d'abord le point de vue ordinairement admis et supposons que l'on se place dans le cas où les formules de Lamé sont applicables : si l'on calcule la résistance de la bouche à feu en limitant les tensions maxima à la limite élastique du métal, le principe de la séparation des résistances n'est pas mis en cause.

En effet, dans un tube soumis à la fois à une pression interne et à une traction suivant l'axe, la tension suivant la circonférence ne dépend que de la pression suivant le rayon et la tension suivant l'axe ne dépend que de la traction longitudinale. La coexistence des deux efforts ne modifie dès lors en aucune façon les tensions résultant de chacun d'eux.

---

(1) Moch, *Des canons à fils d'acier*, p. 136. Paris, Berger-Levrault.

Digitized by Google

Si, abandonnant la limitation des tensions élastiques, nous voulons limiter la plus grande des dilatations, le principe de la séparation des résistances donne prise à la discussion.

Les deux seules dilatations à envisager sont évidemment $\frac{\varepsilon}{r}$ et $\frac{\partial w}{\partial z}$, et l'hypothèse étant que, sur $r = r_0$, il existe une pression uniforme P_1, sur $z = 0$, une traction uniformément répartie F, elles sont données par les formules

$$\begin{cases} \dfrac{\varepsilon}{r} = a + \dfrac{b}{r_0^2} = \dfrac{1}{2\mu(3\lambda + 2\mu)} \dfrac{P_1}{r_1^2 - r_0^2} \\ \qquad\qquad \times [(3\lambda + 2\mu) r_1^2 + (\lambda + 2\mu) r_0^2] - \dfrac{\lambda F}{2\mu(3\lambda + 2\mu)}, \\ \dfrac{dw}{dz} = \quad c \quad = \dfrac{\lambda + \mu}{\mu(3\lambda + 2\mu)} F - \dfrac{\lambda}{\mu(3\lambda + 2\mu)} \dfrac{r_0^2 P_1}{r_1^2 - r_0^2}, \end{cases}$$

desquelles on peut conclure :

1° Que la traction longitudinale F *diminue* la dilatation circonférentielle; autrement dit la dilatation circonférentielle $\frac{\varepsilon}{r}$ résultant de la coexistence des deux efforts, de directions rectangulaires P_1 et F, est moindre que celle qui résulterait de l'application de la pression P_1 seule;

2° Que la dilatation longitudinale $\frac{dw}{dz}$ résultant de la coexistence d'une traction F et de la pression interne P_1 est *moindre* que celle qui serait due à l'application de la seule traction F.

Dans le cas où la pression P_1 serait appliquée à l'extérieur du cylindre sans aucune pression à l'intérieur, ces conclusions seraient inversées.

On voit donc que le principe de la séparation des résistances doit être discuté dans chaque cas particulier. Il n'est pas évident et ne saurait être accepté comme postulatum.

Ce premier aperçu est toutefois insuffisant pour permettre de justifier un choix entre les canons à résistances séparées et les canons à résistances solidaires. En effet, si l'on considère un canon à résistances solidaires, le corps est soumis à une pression intérieure P_1 uniforme et à une traction F, et les proportions de cet élément sont calculées en limitant la dilatation circonférentielle, qui est la plus forte.

Digitized by Google

Si les résistances sont séparées, le corps n'est plus soumis qu'à une traction F; dès lors, le calcul de ses dimensions doit être fait en limitant $\frac{dw}{dz}$.

On est ainsi conduit à le prendre plus mince et l'on est tenté d'en conclure que le poids de la bouche à feu peut être diminué. Mais le corps ne travaillant plus transversalement, la pression maximum ϖ que l'on peut supposer appliquée à l'intérieur de la bouche à feu, c'est-à-dire sa puissance, est réduite de P_1, et pour récupérer l'avantage ainsi perdu, il faut augmenter le frettage. Dans quelle mesure cela peut-il être fait en restant dans les limites de poids du type à résistances solidaires?

C'est ce qu'une discussion plus approfondie permettra seule d'éclaircir.

Supposons les deux types de bouches à feu de même poids. Soient r_1 le rayon extérieur commun du corps, r_0, r'_0 les rayons intérieurs, relatifs respectivement aux canons à résistances solidaires et séparées.

Considérons le premier type (r_1, r_0). Soit, pour simplifier, $\lambda = \mu$.

On a, dans ce cas, $\frac{\varepsilon}{r}$ et $\frac{\partial w}{\partial z}$ étant des dilatations positives,

$$10\mu\left(\frac{\varepsilon}{r}\right) = \frac{P_1}{r_1^2 - r_0^2}(5r_1^2 + 3r_0^2) - F, \qquad 10\mu\frac{\partial w}{\partial z} = 4F - \frac{2r_0^2 P_1}{r_1^2 - r_0^2},$$

$$2\mu\left(\frac{\varepsilon}{r} - \frac{\partial w}{\partial z}\right) = \frac{r_1^2 + r_0^2}{r_1^2 - r_0^2} P_1 - F.$$

Admettons pour cette bouche à feu les proportions usuelles, à savoir $r_1 = 1,5 r_0$ et soit encore $F = 0,2\varpi$, ϖ étant la pression à la culasse. Cette valeur de F résulte de l'égalité

$$(r_1^2 - r_0^2)F = \frac{1}{4}\varpi r_0^2;$$

elle est vraisemblablement trop faible, ainsi qu'on le verra plus loin; toutefois, nous l'admettrons d'abord, conformément à une hypothèse qui est usuelle, nous réservant de soumettre nos conclusions à un nouvel examen, quand nous aurons étudié comment il convient de fixer la valeur de F.

Digitized by Google

L'expression de $\frac{\varepsilon}{r}$ peut aussi se mettre sous la forme

$$\frac{5\mu}{2}\frac{\varepsilon}{r} = t + \frac{1}{4}(p-q) \quad (1),$$

t étant la tension circonférentielle, p la pression suivant le rayon et q la traction suivant l'axe.

Dans les conditions actuelles de construction des canons à résistances solidaires, on pose $p=q$, de sorte que $\frac{\varepsilon}{r}$ est proportionnelle à la tension maximum suivant la circonférence.

On a donc, avec ces hypothèses,

$$\frac{5\mu}{2}\frac{dw}{dz} = \frac{2r_1^2 - 3r_0^2}{2(r_1^2 - r_0^2)}\,\mathrm{F} = 0{,}6\,\mathrm{F},$$

$$\frac{5\mu}{2}\frac{\varepsilon}{r} = \frac{r_1^2 + r_0^2}{r_1^2 - r_0^2}\,\mathrm{F} = 2{,}6\,\mathrm{F} \quad (\text{pour } r_1 = 1{,}5\,r_0),$$

tandis que, pour le canon à résistances séparées,

$$\frac{5\mu}{2}\frac{dw}{dz} = \mathrm{F}',$$

Exprimons que les deux types de bouches à feu présentent la même résistance au déculassement puisque cette résistance est celle qu'il importe surtout d'assurer; nous trouverons

$$\mathrm{F}' = 0{,}6\,\mathrm{F}.$$

On voit que, pour le type à résistances solidaires, la résistance au déculassement est largement garantie, car, lorsque la limite des dilatations élastiques est atteinte suivant la circonférence, le quart seulement de cette dilatation est atteint suivant l'axe.

En séparant les résistances, on doit poser $\mathrm{F}' = 0{,}6\,\mathrm{F}$, c'est-à-dire qu'il faut alors, pour résister à une traction donnée, *en conservant la même sécurité au point de vue du déculassement,* presque doubler la section du corps, ce qui n'est pas réalisable.

On pourrait, il est vrai, poser la condition que la plus grande dilatation, suivant l'axe, $\frac{2}{5\mu}\mathrm{F}'$, du canon à résistances séparées soit égale à la plus grande dilatation, suivant la circonférence, du

(1) Le coefficient $\frac{5\mu}{2}$ est égal, comme on sait, au module d'élasticité.

Digitized by Google

canon à résistances solidaires. On serait conduit à $r'_0 = 1,33 r_0$. Dans ce cas, il serait fort aisé de réaliser, avec le frettage sous-jacent, un canon à résistances séparées, dont la résistance transversale serait égale et même supérieure à celle du canon à résistances solidaires. Les dilatations limites élastiques seraient atteintes simultanément dans les deux types de bouches à feu : suivant *la circonférence* dans le premier cas, suivant *l'axe* dans le second. A ce point de vue, la séparation des résistances permettrait de réaliser un canon plus puissant sous le même poids, mais les accidents à craindre en cas de rupture de la pièce sont de telle nature que les dangers courus en dépassant la limite d'élasticité suivant l'axe sont très supérieurs à ceux qui se présenteraient si la dilatation circonférentielle maximum était dépassée, et l'on ne peut accepter de les traiter comme équivalents.

Il semble pourtant que les constructeurs aient calculé les jaquettes des canons à fils sans avoir égard à cette différence de risques.

L'examen des tracés d'un certain nombre de canons, en service à l'étranger, montre que les jaquettes sont minces et beaucoup moins robustes que les corps des canons à résistances solidaires. Ils donnent donc moins de garanties que ces derniers à l'égard du mode de rupture le plus dangereux pour le personnel.

Dans ce qui précède, on n'a envisagé que le principe seul de la séparation des résistances, toutes choses égales, d'ailleurs, c'est-à-dire en admettant les mêmes qualités de métal pour le tube et pour le frettage. Il semblera, au contraire, évident que le remplacement des frettes par un fil enroulé, de résistance spécifique trois fois plus grande, doit donner le moyen d'accroître la puissance de la bouche à feu; c'est un point que nous n'entendons pas discuter ici.

Tout ce qui précède est subordonné à l'existence d'un genre de déformations donné par les formules de Lamé, c'est-à-dire à la présence des forces extérieures correspondantes. Or il est visible que ces forces supposées ne sont pas conformes à la réalité. La pression P_1 n'est pas, en effet, répartie sur toute la longueur du cylindre. Elle n'est appliquée que du fond de l'âme à la tranche de la bouche. Entre la tranche de culasse et le fond de l'âme

Digitized by Google

s'exerce une pression P_0 (pression de serrage du corps sur la virole), en général inférieure à P_1. Or, si la pression décroît en arrière de l'obturateur, on est induit à penser que la dilatation $\frac{\varepsilon}{r}$ décroîtra en même temps, le terme P_1 étant additif dans son expression; par contre, $\frac{dw}{dz}$ croîtra vraisemblablement, car le terme P_1 est ici soustractif.

Dès lors, on conçoit que la dilatation longitudinale puisse surpasser la dilatation circonférentielle dans la même section, et même puisse devenir supérieure à la valeur maximum de $\frac{\varepsilon}{r}$; celle-ci se présente d'ailleurs, selon toute apparence, en des points du corps où tout se passe sensiblement comme si la pression P_1 était seule appliquée.

Dans les canons du type dit *à résistances séparées,* la virole doit être posée à chaud, par suite avec un certain serrage; l'expérience a montré que cette pratique était indispensable pour s'opposer aux effets dynamiques produits par les imperfections inévitables de l'ajustage. Ce type de bouche à feu sera donc caractérisé par $P_1 = 0$ et P_0 égale à la valeur trouvée convenable pour tenir compte, d'une part, des difficultés d'assemblage à chaud, de l'autre de la nécessité d'assurer la solidarité intime des deux organes. On a reconnu qu'un serrage de $1^{mm},3$ par mètre pouvait difficilement être dépassé.

L'existence de cette pression P_0 diminue la dilatation longitudinale dans ce type de bouches à feu. Les comparaisons faites ci-dessus ne sont donc plus légitimes, et un calcul tenant plus de compte des circonstances réelles est nécessaire. La nouvelle répartition des efforts, incompatible avec les formules de Lamé, exigeait une étude mathématique et mécanique à laquelle la première partie de ce travail a été consacrée.

Au paragraphe précédent, nous avons obtenu les valeurs de $\frac{\varepsilon'}{r}$, $\frac{\varepsilon'''}{r}$; leur somme donne sensiblement la dilatation circonférentielle totale $\frac{\varepsilon}{r}$, la troisième déformation $\frac{\varepsilon''}{r}$ étant négligeable. Nous avons trouvé que le minimum de cette valeur se présente à la tranche de culasse, c'est-à-dire pour $\zeta = 0$. Néanmoins, nos évaluations ont

Digitized by Google

été faites non pour $\zeta = 0$, mais pour $\zeta = 1$. Il existe en effet, près de la tranche de culasse, une région étroite (listel) où la virole ne peut prendre appui par son filetage dans l'écrou du corps, car cet écrou doit laisser un appui au filet et ne peut, en conséquence, se prolonger jusqu'à $z = 0$. Il en résulte, auprès du point $\zeta = 0$, une légère perturbation dont nous n'avons pas tenu compte en établissant les équations du problème et qui enlèverait tout intérêt pratique à nos conclusions sur ce qui se passe en ce point précis.

La dilatation suivant l'axe est donnée par la formule

$$(1)\qquad \begin{cases} \dfrac{5\mu}{2}\dfrac{dw}{dz} = 0{,}9403(P_1 - P_0) + F - 0{,}4P_1 \\ \text{ou} \\ \dfrac{5\mu}{2}\dfrac{dw}{dz} = F + 0{,}5403P_1 - 0{,}9403P_0; \end{cases}$$

la dilatation circonférentielle par celle-ci

$$(2)\qquad \begin{cases} \dfrac{5\mu}{2}\dfrac{\varepsilon}{r} = -2{,}8242(P_1 - P_0) - 0{,}25F + 2{,}85P_1 \\ \text{ou} \\ \dfrac{5\mu}{2}\dfrac{\varepsilon}{r} = 0{,}0258P_1 - 0{,}25F + 2{,}8242P_0. \end{cases}$$

Supposons, dans les formules précédentes, $P_1 = 0$, nous aurons ainsi près du filet arrière de la virole ($\zeta \backsim 1$) les formules

$$(3)\qquad \frac{5\mu}{2}\frac{dw}{dz} = F - 0{,}9403P_0 \ (^1)$$

$$(4)\qquad \frac{5\mu}{2}\frac{\varepsilon}{r} = -0{,}25F + 2{,}8242P_0,$$

qui conviennent au type de bouche à feu à résistances séparées; nous supposons que le diamètre intérieur du corps est $2r_0$, son

(1) Mais cette valeur de $\dfrac{\partial w}{\partial z}$ est minimum, car le coefficient de P_0 diminue constamment en valeur absolue pendant que ζ augmente; il est 0,32475 pour $\zeta = \zeta_1$, et sensiblement nul dès que ζ atteint la valeur $2\zeta_1$; on doit donc écrire

$$\left(\frac{5\mu}{2}\frac{dw}{dz}\right)_{max} = F.$$

Digitized by Google

diamètre extérieur $2r_1$, comme nous l'avons fait dans tout ce qui précède.

Des équations (1) et (2) on conclut, sans aucune hypothèse sur F, qu'il y a intérêt à augmenter le serrage de la virole. Le terme en P_0 est, en effet, dans les deux équations, soustractif. Ceci suppose toutefois $P_1 > P_0$ et ne s'applique, en conséquence, qu'aux canons à résistances solidaires.

Pour continuer la discussion, nous sommes forcés de faire des hypothèses sur les valeurs relatives de P_0, P_1, F (1).

Soit ϖ la pression à la culasse, par unité de surface. On a vu plus haut que l'équation d'équivalence entre la traction longitudinale et la pression appliquée à la culasse conduit, avec les proportions adoptées pour notre bouche à feu, à la relation

$$F = 0{,}2\varpi,$$

et l'on a, pour P_0, la valeur approximative

$$P_0 = 0{,}1\varpi$$

(qui suppose le serrage $1^{mm}{,}3$ par mètre et $\varpi = 50^{kg}$ par millimètre carré). Avec ces hypothèses, les équations (1) et (2) deviennent

$$\frac{5\mu}{2}\frac{dw}{dz} = 0{,}106\varpi + 0{,}5403P_1,$$

$$\frac{5\mu}{2}\frac{\varepsilon}{r} = 0{,}0258P_1 + 0{,}2324\varpi.$$

Si, d'autre part, dans les formules (2), on fait $P_0 = P_1$, on obtient la dilatation maximum circonférentielle sur le corps, à savoir

$$\left(\frac{5\mu}{2}\frac{\varepsilon}{r}\right)_{max} = -0{,}25F + 2{,}85P_1 = -0{,}05\varpi + 2{,}85P_1.$$

Ceci implique encore, ce qui est toujours réalisé dans la pratique des canons à résistances solidaires, $P_1 > P_0$.

Si l'on tient à ce que la résistance transversale du corps soit inférieure à la résistance au déculassement, on devra choisir P_1 de telle sorte que

$$\left(\frac{5\mu}{2}\frac{\varepsilon}{r}\right)_{max} \quad \text{soit} \quad > \left(\frac{5\mu}{2}\frac{dw}{dz}\right)_{max},$$

(1) *Voir* la Note annexe, concernant ce sujet, placée à la fin de ce Mémoire.

Digitized by Google

c'est-à-dire

$$2,85\,P_1 - 0,25\,F > F + 0,5403\,P_1 - 0,9403\,P_0$$

ou

$$1,850\,P_1 + 0,752\,P_0 > F.$$

Cette inégalité est vérifiée pour $P_1 = P_0 = 0,1\,\varpi$, $F = 0,2\,\varpi$; elle l'est *a fortiori* pour $P_1 > P_0$.

Comme, d'autre part, il y a intérêt, pour augmenter la résistance au déculassement, à réduire la dilatation longitudinale maximum à sa moindre valeur, on est conduit à prendre

$$P_1 = P_0 = 0,1\,\varpi;$$

toutes les déformations se réduisent alors à celle qui est donnée par les formules de Lamé.

Dans ce cas

$$\frac{5\mu}{2}\frac{dw}{dz} = 0,16\,\varpi = 0,8\,F,$$

$$\frac{5\mu}{2}\frac{\varepsilon}{r} = 0,235\,\varpi = 1,175\,F.$$

Supposons maintenant $P_1 = 0,2\,\varpi = F$ et toujours $P_0 = 0,1\,\varpi$; nous trouverons

$$\frac{5\mu}{2}\frac{dw}{dz} = 0,214\,\varpi = 1,07\,F,$$

$$\left(\frac{5\mu}{2}\frac{\varepsilon}{r}\right)_{max} = 0,52\,\varpi.$$

Avec $P_1 = 0,3\,\varpi$, valeur maximum réalisée dans la pratique, on aurait

$$\frac{5\mu}{2}\frac{dw}{dz} = 0,268\,\varpi = 1,34\,F,$$

$$\left(\frac{5\mu}{2}\frac{\varepsilon}{r}\right)_{max} = 0,805\,\varpi.$$

Ces cas s'éloignent de plus en plus de celui auquel s'appliquent les calculs habituels, c'est-à-dire les formules de Lamé; les dilatations longitudinales deviennent en même temps de plus en plus grandes, sans atteindre pourtant les dilatations circonférentielles.

Examinons enfin le cas des résistances séparées.

On a

$$\left(\frac{5\mu}{2}\frac{dw}{dz}\right)_{max} = F' = 0,2\,\varpi',$$

Digitized by Google

et l'on devrait prendre la pression ϖ' inférieure à ϖ puisque, les résistances étant séparées, le tube fretté résiste seul (1). Mais concevons que, par une augmentation de la qualité du frettage, on ait pu faire $\varpi' = \varpi$. Il y aura équivalence avec le type à résistances solidaires, c'est-à-dire égalité de résistance au déculassement pour $P_1 = 0,2\varpi = F$. En fait, la séparation des résistances n'aura procuré dans ce cas aucun avantage puisque, à égalité de résistance au déculassement et de poids, on aura dû augmenter les limites élastiques des frettes de manière à augmenter la résistance transversale du tube fretté. Dans le cas de $P_1 = F = 0,2\varpi$, la formule

$$\frac{5\mu}{2}\frac{\varepsilon}{r} = t + \frac{1}{4}(p - q)$$

montre en outre que la dilatation circonférentielle correspond à la limite de la tension élastique de l'élément.

En résumé, en admettant, suivant l'usage, $F = 0,2\varpi$, il résulte de la discussion précédente que :

Dans les canons à résistances solidaires, pour lesquels on a $P_1 > P_0$,

1° Il y a avantage à donner à P_0 la plus forte valeur possible, c'est-à-dire à donner au corps sur la virole le plus grand serrage diamétral compatible avec les facilités d'usinage ou d'assemblage des éléments. Ce serrage ne saurait dépasser sensiblement $1^{mm},3$ par mètre.

2° La dilatation circonférentielle diminue quand on marche de l'obturateur vers la tranche de culasse.

La dilatation axiale augmente. Elle est maximum à la tranche de culasse et surpasse la dilatation circonférentielle dans la même section.

3° Cette dilatation longitudinale reste inférieure à la plus grande des dilatations circonférentielles; celle-ci se présente pour les points situés en avant de l'obturateur et se trouve déjà réalisée à

(1) On trouve aisément

$$\varpi' - \varpi = \gamma P_1,$$

γ étant un coefficient qui dépend des proportions du tube et du frettage. Avec les dimensions usuelles, on a

$$\gamma = 1,53.$$

Digitized by Google

une distance voisine de la longueur de la virole; c'est celle qui correspondrait à une déformation de Lamé, si la pression P_1 agissait seule sur toute la surface intérieure du corps, avec la traction F sur chacune des faces extrêmes.

4° Le mode de calcul qui consiste à limiter cette dilatation circonférentielle est justifié par les considérations précédentes, bien que les hypothèses faites pour le rendre légitime ne soient pas conformes à la réalité.

5° A égalité de poids et, les proportions et qualités des divers éléments étant les mêmes, si l'on veut obtenir une même sécurité au point de vue du *déculassement,* le type à résistances séparées ne présente aucun avantage sur le type à résistances solidaires; il exige en effet l'augmentation de la limite élastique du frettage pour tenir compte de la perte de résistance transversale, provenant de la séparation des résistances.

6° Par contre, si l'on consent à atteindre longitudinalement, avec le type à résistances séparées, la dilatation atteinte suivant la circonférence, avec le type à résistances solidaires, le premier type reprend l'avantage sur le second. Il est alors possible de réduire notablement la section du corps. Dans le cas ordinairement considéré, $P_1 = F = 0,2\varpi$, on voit que, pour le deuxième type, la dilatation circonférentielle est double environ de la dilatation longitudinale.

Par suite, quand la dilatation longitudinale pour le premier type est égale à la dilatation circonférentielle pour l'autre, la section du corps de l'un est égale à la moitié de la section de l'autre. Les diamètres extérieurs étant les mêmes, il reste plus de place disponible pour les frettes avec le premier type qu'avec le second, en sorte qu'il devient possible, soit d'augmenter la puissance du frettage pour le premier type, soit, à puissance égale, de réduire la qualité du métal des frettes.

Ce n'est pas sur ces dernières bases que nous établissons la comparaison, parce que le déculassement d'un canon est le seul accident grave à craindre, une rupture transversale ne faisant courir aucun risque au personnel.

On peut même désirer, à ce point de vue, que les déformations permanentes transversales aient lieu, d'abord, sur les éléments à l'intérieur du corps; il faut alors prendre $P_1 < F$ et la dilatation

Digitized by Google

maxima élastique sera ainsi atteinte sur le tube ou les frettes, avant de l'être sur le corps du canon.

Toute cette discussion et les conclusions qui viennent d'être énoncées supposent $F = 0,2\varpi$, mais cette évaluation semble trop faible.

On a, en, effet des exemples de bouches à feu déformées longitudinalement, sans avoir subi de déformations transversales permanentes.

En particulier, un accident survenu à bord du *Duguay-Trouin* a révélé ce phénomène. Les canons périssent généralement par déculassement, bien qu'il ressorte de la discussion précédente que les dilatations élastiques limites sont atteintes suivant la circonférence avant de l'être suivant l'axe.

En outre, le déculassement a toujours lieu au voisinage de l'obturateur. Or on conclut de la discussion précédente que, si l'on admet notre hypothèse sur la valeur du rapport $\frac{F}{\varpi}$, la dilatation longitudinale est maximum près de la tranche de la culasse. L'analyse précédente ne rend donc pas compte, avec cette hypothèse, de quelques-uns des accidents observés. Ceux qui sont parvenus à notre connaissance se rapportent, il est vrai, à des types de bouches à feu n'ayant pas les proportions admises ci-dessus. Toutefois, l'examen des faits porte à penser que l'évaluation que nous avons provisoirement acceptée pour la traction longitudinale et son mode d'application « et qui d'ailleurs est celle dont on fait toujours usage » n'est pas d'une suffisante exactitude.

Cette hypothèse se caractérise comme il suit :

1° On suppose appliquée au corps du canon une traction suivant l'axe, uniformément répartie sur la tranche de culasse;

2° La valeur de cette traction a été déduite d'une égalité donnée plus haut, en vertu de laquelle elle serait égale, pour nos canons, à $0,2\varpi$, ϖ étant la pression à la culasse par unité de surface.

En ce qui concerne le premier point, il n'existe pas en fait de traction appliquée à la tranche arrière du corps. La traction sur celui-ci s'exerce par l'intermédiaire de la virole qui la reçoit elle-même de la vis-culasse dans des conditions fort complexes. Pour simplifier le phénomène on peut concevoir que la virole et le corps

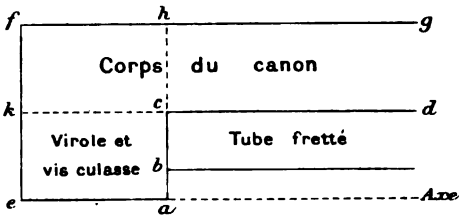
Digitized by Google

ne forment qu'un seul bloc de métal, sans joint. Cette condition est réalisable et réalisée dans certains types de canons. On en approche le plus possible dans les canons de la Marine grâce au double filet adopté et les précautions d'usinage minutieuses, employées pour assurer l'appui de la virole sur l'arrière de ses filets.

Supposons maintenant une vis-culasse à filet continu (et non interrompu), ajustée exactement dans l'écrou de la virole, sans aucun jeu. On pourra la considérer comme étant d'une seule pièce avec la virole.

Les forces appliquées seront : au fond de l'âme, la pression ϖ, sur un cercle de diamètre égal au calibre r_0, $\left(ab = \frac{r_0}{2}\right)$; en bc, une pression nulle ou la pression due au serrage longitudinal; suivant

Fig. 4.



cd une pression égale à P_1. Nous avons remplacé cette disposition des forces par une autre, en substituant à la pression totale appliquée sur ab une traction équivalente uniformément appliquée sur la section fk du corps.

Mais on peut faire une autre hypothèse et admettre que la pression totale appliquée sur ab soit remplacée par une traction uniforme, appliquée seulement sur la tranche de la virole. En supposant que cette traction, par unité de surface, dont l'effet se ferait sentir tout au plus sur les parties du corps voisines du point k, est appliquée au contraire sur toute la section fk du corps, on exagérerait visiblement la valeur qu'il est permis d'adopter pour le rapport $\frac{F}{\varpi}$; les dimensions relatives que nous avons fixées pour les diverses parties du canon donneraient alors

$$\frac{F}{\varpi} = 0,57.$$

Il semble que ces deux manières de simplifier le problème véri-

Digitized by Google

table donnent, en conservant l'ordre d'idées toujours adopté par les praticiens, les limites qui comprennent la réalité.

On en approcherait sans doute davantage en procédant ainsi qu'il suit : considérons le corps, la virole et même la vis-culasse comme formant un bloc unique *dcaefg*; regardons ce dernier comme soumis aux forces suivantes : sur *ab*, à la pression uniforme ϖ; sur *bc*, à une autre pression uniforme; sur le cylindre $r = r_0$, à la pression uniforme P_1. Le problème consisterait à étudier les tensions élastiques dans la section *ch* et les déformations maxima. C'est à une question de cette espèce que sera consacré un prochain travail.

On comprend que l'on puisse obtenir un état de déformation sensiblement identique, en remplaçant les forces appliquées sur *ch* par une traction uniforme F appliquée sur la tranche *fk*; mais on voit combien il serait difficile d'assigner, pour cette traction, une valeur précise, capable de reproduire les phénomènes qui prennent naissance dans les parties les plus fatiguées du corps, et l'on ne peut guère indiquer avec quelque confiance que des limites entre lesquelles cette traction F est vraisemblablement comprise; c'est pour ces limites que nous proposons de prendre provisoirement $0,2\varpi$ et $0,57\varpi$. Nos formules se prêtent d'ailleurs à toute hypothèse sur ce point.

Si l'on accepte la manière de voir qui vient d'être rappelée et qu'on laisse prendre à F une valeur quelconque entre $0,2\varpi$ et $0,57\varpi$, les conclusions données plus haut peuvent être, pour certains cas, modifiées.

Nous avons trouvé que la plus grande dilatation longitudinale correspond à des points voisins de la tranche de culasse et qu'elle est inférieure à la dilatation circonférentielle maximum.

Cherchons pour quelle valeur de F on a égalité des plus grandes dilatations longitudinales et circonférentielles. Il faut, pour cela, que l'on ait

$$2,85P_1 - 0,25F = F + 0,5403P_1 - 0,9403P_0.$$

Soit

$$P_0 = 0,1\varpi, \qquad P_1 = \alpha\varpi, \qquad F = \beta\varpi$$

(α, β étant des coefficients indéterminés). La relation précédente s'écrit encore

$$1,85\alpha = \beta - 0,075.$$

Digitized by Google

Pour $\alpha = 0,1$, on a

$$\beta = 0,26.$$

Pour $\alpha = 0,2$, on a

$$\beta = 0,44.$$

Pour $\alpha = 0,3$, on a

$$\beta = 0,63.$$

Si donc on veut maintenir, malgré l'accroissement de β, la résistance longitudinale supérieure à la résistance transversale, on est conduit à augmenter la pression P_1.

L'étude ultérieure que nous annonçons plus haut permettra de décider si, dans le mode actuel de construction, la résistance longitudinale l'emporte sur la résistance transversale.

NOTE ANNEXE.

DÉTERMINATION DE LA PRESSION QUI S'EXERCE AU REPOS ET A L'ÉTAT DE TIR ENTRE LA VIROLE ET LE CORPS.

Les vis de fermeture de culasse ont, en général, un filet triangulaire. Lorsque le profil du filet est *en dent de scie,* les différentes surfaces de portage sont dans des plans perpendiculaires à l'axe de la bouche à feu. Il n'en est pas toujours ainsi. En particulier, dans la Marine française, l'expérience a conduit à adopter un profil constitué par un triangle rectangle sensiblement isocèle. Il suit de là qu'au tir la vis appuie sur son écrou comme un coin et donne ainsi naissance à des pressions radiales dont la distribution aux divers points de l'écrou et l'intensité sont inconnues. Grâce à des jeux, progressivement décroissants depuis le premier filet avant, ménagés entre les surfaces de portage des filets de la vis et de son écrou, on s'efforce d'obtenir au moment du tir un portage uniforme. On admet que cette condition est réalisée et que les pressions radiales développées sont uniformément réparties sur toute la longueur de l'écrou de culasse. Cette pression totale, dite *de mandrinage,* est évaluée à l'aide de la formule

$$Q = \pi \varpi r_0^2 \cot \alpha,$$

α étant l'angle à la base des filets, r_0 le rayon de l'âme, ϖ la pression au fond de l'âme par unité de surface.

Avec les proportions usuelles dans la Marine, la surface de portage S est égale à

$$\pi . 1,5 . 2,25 r_0^2$$

($2,25 r_0$ est la longueur de la vis).

Digitized by Google

La pression q par unité de surface est

$$q = 0{,}3\varpi. \tag{1}$$

Si l'on admet cette évaluation, on voit que la pression développée entre la virole et le corps ne sera pas la même à l'état de repos et à l'état de tir.

On calcule aisément, pour des serrages donnés, l'état intérieur d'un tube composé dont les surfaces limites sont soumises à des pressions normales et uniformes (*voir* les Leçons de M. Sarrau, professées à l'École d'application des Poudres et Salpêtres, p. 147).

Soient q et zéro les pressions développées sur les surfaces intérieure de la virole et extérieure du corps, P_0 la pression inconnue qui s'exerce entre la virole et le corps, S_1 le serrage absolu entre ces deux éléments, $R_0 = 1{,}5r_0$, $R_1 = 2r_0$, $R_2 = 3r_0$ leurs rayons respectifs, e le module d'élasticité, on trouve aisément la formule

$$\frac{qR_0^2}{R_1^2 - R_0^2} + e\frac{S_1}{2R_1} = P_0 R_1^2\left(\frac{1}{R_2^2 - R_1^2} + \frac{1}{R_1^2 - R_0^2}\right) \tag{2}$$

ou

$$0{,}4167q + 0{,}0810\frac{S_1}{r_0} = P_0. \tag{3}$$

Comme on l'a déjà dit, le serrage relatif est $1^{mm},3$ par mètre, d'où

$$\frac{S_1}{R_1} = 0{,}0013.$$

Si l'on suppose d'abord $q = 0$, on aura la pression au repos entre la virole et le corps. En donnant à q la valeur (1) dans l'équation (3), on obtient la pression P_0 à l'état de tir :

1° Pour $q = 0$, on trouve $P_0 = 4{,}63$, soit environ $0{,}1\varpi$ (la pression ϖ varie en effet entre 45^{kg} et 50^{kg} par millimètre carré);

2° Pour $q = 0{,}3\varpi$, on a $P_0 = 0{,}225\varpi$.

Telle est approximativement, avec les hypothèses admises, la pression qui s'exerce à l'état de tir entre le corps et la virole.

On peut reprendre aisément, avec cette nouvelle valeur de P_0, la discussion faite au § V du Mémoire. Les conclusions n'en sont pas essentiellement modifiées.

Digitized by Google

SUR LA LOI

DES

PRESSIONS DANS LES BOUCHES A FEU [1]

PAR

M. E. VALLIER,

Chef d'escadron d'artillerie, correspondant de l'Institut.

PREMIÈRE NOTE.

Les formules de la Balistique intérieure donnent avec une approximation suffisante la vitesse initiale du projectile, ainsi que la pression maximum, mais non la loi de distribution de la pression en chaque point. Les mesures expérimentales sont également en défaut à cet égard. Il y a pourtant intérêt, surtout pour les études de résistance de l'arme ou des organes accessoires, à pouvoir évaluer cette pression, au moins avec un certain degré d'approximation, en partant des résultats acquis (vitesse et pression maximum).

Dans cet ordre d'idées, si l'on examine les courbes figurant le développement de ces pressions (ou accélérations du projectile) en fonction du temps, on remarque que ces courbes s'élèvent très rapidement jusqu'au maximum et s'abaissent ensuite en présentant un point d'inflexion pour prendre une direction asymptotique à l'axe des temps.

L'allure générale de telles courbes peut se représenter par une expression telle que

$$P = P_0 \frac{t}{\theta} e^{1-\frac{t}{\theta}}, \tag{1}$$

[1] *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CXXVIII, p. 1305 et t. CXXIX, p. 258.

Digitized by Google

où P désigne la pression au point où se trouve le culot du projectile à l'instant t, P_0 la pression maximum et θ l'instant de cette pression, l'origine des temps étant fixée au moment où le projectile commence son mouvement.

De cette expression (1) on déduit facilement les divers éléments du trajet dans l'âme sous forme explicite, à l'aide des relations suivantes :

$$(1\,bis) \qquad m\frac{du'}{dt} = \omega P = \omega P_0 P(z),$$

$$(2) \qquad mu' = e\omega P_0 \theta V(z),$$

$$(3) \qquad mu = e\omega P_0 \theta^2 U(z),$$

où m représente la masse du projectile, u' sa vitesse en mètres, u l'espace parcouru en mètres également à l'instant t, ω la section droite de l'âme en centimètres carrés, P_0 la pression maximum par centimètre carré, e la base des logarithmes népériens, z le rapport $\frac{t}{\theta}$, enfin $P(z)$, $V(z)$ et $U(z)$ trois fonctions ayant pour expression respectivement

$$P(z) = ze^{1-z}, \quad V(z) = 1 - (1+z)e^{-z} \quad \text{et} \quad U(z) = z - 2 + (z+2)e^{-z}.$$

Voici maintenant comment on peut, à l'aide de ces formules, dégager pratiquement la loi du régime des pressions.

Soient U' et U la vitesse initiale et le parcours total du projectile à la bouche de la pièce, et α le rapport de la pression maximum à la pression moyenne qui, dans le même parcours, communiquerait au projectile la vitesse U'; on a

$$(4) \qquad \alpha = 2\omega P_0 U : mU'^2.$$

Ce paramètre α est souvent employé comme caractéristique de la vivacité de la poudre dans chaque cas particulier. Il reste voisin de 3 pour les poudres noires, et de 2 à 1,6 environ pour les poudres sans fumée. Il a pour expression analytique, avec nos notations,

$$(5) \qquad \alpha = \frac{2}{e}\frac{U(Z)}{V^2(Z)},$$

Z représentant la valeur $\frac{T}{\theta}$ de z au moment T de la sortie du pro-

Digitized by Google

jectile. Enfin, en divisant membre à membre les équations (2) et (3) on aura, pour la même valeur Z de z,

$$\theta = \frac{U}{U'}\frac{V(Z)}{U(Z)} = \frac{2}{e}\frac{U}{U'}\times\frac{1}{\alpha V(Z)} = \frac{U}{U'}\Theta(\alpha), \tag{6}$$

en désignant par $\Theta(\alpha)$ le facteur $\frac{2}{e\alpha V(Z)}$,

Z étant donné en fonction de α par la relation (5).

On voit aisément que la position du point de pression maximum et la vitesse en ce point, obtenues en faisant $z = 1$ dans les relations (2) et (3), ont pour valeur

$$\left\{\begin{array}{l} mu'_0 = (e-2)\omega P_0\theta = 0{,}7182\,\omega P_0\theta, \\ mu_0 = (3-e)\omega P_0\theta^2. \quad \text{ou} \quad u_0 = 0{,}392\,u'_0\theta. \end{array}\right. \tag{7}$$

D'après tout ce qui précède, pour obtenir avec une approximation suffisante les pressions en chaque instant du parcours, on procédera comme il suit :

Calculer (α) par la formule (4) et en déduire θ par la formule (6). Évaluer ensuite les divers éléments en fonction du temps par les relations (1 *bis*), (2) et (3), ainsi que par les formules (7) pour le point du maximum de pression.

Les Tables sommaires qui suivent ont été calculées pour simplifier les recherches précédentes :

α.	Z.	$\Theta(\alpha)$.	z.	P(z).	V(z).	U(z).
1,5	3,17	0,594	1,0	1,000	0,263	0,103
1,6	3,40	0,542	1,5	0,910	0,442	0,281
1,7	3,62	0,497	2,0	0,734	0,594	0,541
1,8	3,83	0,459	2,5	0,558	0,701	0,869
1,9	4,03	0,426	3,0	0,406	0,805	1,249
2,0	4,23	0,398	3,5	0,287	0,868	1,666
2,1	4,42	0,374	4,0	0,198	0,909	2,110
2,2	4,60	0,353	4,5	0,136	0,939	2,572
2,3	4,77	0,335	5,0	0,092	0,962	3,047
2,4	4,94	0,319	5,5	0,061	0,973	3,511
2,5	5,10	0,305	6,0	0,015	0,983	4,020
2,75	5,52	0,276				
3,00	5,90	0,250				

Digitized by Google

DEUXIÈME NOTE.

La formule que j'ai communiquée à l'Académie (séance du 29 mai 1899) sur la loi des pressions dans les bouches à feu, lorsque l'on connaît seulement la vitesse initiale du projectile et la pression maximum enregistrée à la culasse, ne peut, comme je l'indiquais d'ailleurs, être considérée que comme une approximation : les données du problème sont, du reste, en trop petit nombre pour que l'on puisse espérer davantage.

Il est à prévoir que la durée θ du développement de la pression sera toujours ainsi évaluée à une trop faible valeur. Mais, quoi qu'il en soit, cette expression conduit à des résultats suffisamment approchés pour être utilisés : aussi ai-je cru devoir étudier à nouveau le moyen d'en tirer parti rapidement.

Je rappelle que la formule fondamentale est

$$(1) \qquad P = P_0 \frac{t}{\theta} e^{1-\frac{t}{\theta}} = P_0 P(z),$$

où P désigne la pression, évaluée en kilogrammes par centimètre carré, à l'instant t, P_0 la pression maximum enregistrée à la culasse, θ l'instant de cette pression, l'origine des temps étant fixée au moment où le projectile commence son mouvement; enfin, z le rapport $\frac{t}{\theta}$.

Soient m la masse du projectile, u' sa vitesse en mètres et u l'espace parcouru, en mètres également, à l'instant t; ω la section droite de l'âme en centimètres carrés. Soient, en outre, u'_0 et u_0 la vitesse et l'espace à l'instant du maximum de pression pour lequel $z = 1$, et enfin U', U et Z les vitesse, espace et valeur de z à la bouche de la pièce.

Désignons enfin par α le rapport

$$(2) \qquad \alpha = 2\omega P_0 U : m U'^2$$

de la pression maximum à la pression constante qui, dans le même parcours, communiquerait au projectile la vitesse U'. Ce facteur α peut s'appeler le *coefficient de fatigue* dans le tir considéré.

L'application des formules données dans la Note précédente conduit aux diverses expressions énoncées ci-dessous, lesquelles

Digitized by Google

permettent de tracer suffisamment les courbes des divers éléments, soit en fonction des temps, soit en fonction des espaces :

$$\theta = \frac{U}{U'} \times \theta(\alpha), \tag{3}$$

$$u_0 = U \times \Phi(\alpha), \qquad \Phi(\alpha) = \frac{U(1)}{U(Z)}, \tag{4}$$

$$u'_0 = U' \times V(\alpha), \qquad V(\alpha) = \frac{V(1)}{V(Z)}. \tag{5}$$

Ayant ainsi calculé les éléments du point du maximum de pression, le Tableau ci-dessous donne ceux d'un nombre de points suffisants pour le tracé des courbes en question :

$z = \frac{t}{\theta}$.	0.	1.	1,35.	1,50.	1,5935 (1).	2,00 (2).	3,00.	Z (3).
u	0	u_0	$2,1\,u_0$	$2,7\,u_0$	$3,13\,u_0$	$5,22\,u_0$	$12,08\,u_0$	U
u'	0	u'_0	$1,45\,u'_0$	$1,685\,u'_0$	$1,81\,u'_0$	$2,25\,u'_0$	$3,07\,u'_0$	U'
$P(z)$	0	1	0,95	0,91	0,88	0,736	0,406	$P(\alpha)$
$\frac{dP(z)}{dt}$	$\frac{2,7183}{\theta}$	0	$-\frac{0,247}{\theta}$	$-\frac{0,303}{\theta}$	$-\frac{0,3275}{\theta}$	$-\frac{0,368}{\theta}$	$-\frac{0,271}{\theta}$	$\frac{1-Z}{Z}\,\frac{P(\alpha)}{\theta}$
$\frac{dP(z)}{du}$	$+\infty$	0	$-\frac{0,067}{u_0}$	$-\frac{0,0709}{u_0}$	$-\frac{0,0712}{u_0}$	$-\frac{0,064}{u_0}$	$-\frac{0,035}{u_0}$	$\frac{1-Z}{Z}\,\frac{P(\alpha)}{U\theta(\alpha)}$

Il est généralement admis de prendre pour le coefficient α la valeur définie par l'équation (2). Mais il est plus conforme à la théorie comme à l'expérience de remplacer dans cette formule la masse m du projectile par $m + \frac{\mu}{2}$, μ étant la masse de la charge de poudre.

A titre d'exemple, je donne ci-dessous une application de la méthode à des expériences exécutées en Russie par M. Zaboudski, sur un canon de 42 lignes ($10^{cm},5$), avec des projectiles de divers poids et des poudres de diverses natures.

Poids de la charge.....	$1^{kg},895$	$1^{kg},657$	$1^{kg},417$	$1^{kg},895$	$1^{kg},895$	$2^{kg},350$	$2^{kg},650$	$2^{kg},186$	$1^{kg},704$
Poids des projectiles...	$16^{kg},300$	$16^{kg},300$	$16^{kg},300$	$14^{kg},350$	$12^{kg},500$	$16^{kg},300$	$16^{kg},300$	$16^{kg},600$	$16^{kg},300$
Vitesse initiale.....	547^{m}	505^{m}	456^{m}	568^{m}	597^{m}	598^{m}	598^{m}	562^{m}	562^{m}
Pression à la culasse...	1722^{kg}	1390^{kg}	1045^{kg}	1536^{kg}	1389^{kg}	1794^{kg}	1716^{kg}	1731^{kg}	1764^{kg}
z.....	1,855	1,805	1,715	1,761	1,715	1,66	1,54	1,815	1,84
θ.....	$0^{s},00244$	$0^{s},00274$	$0^{s},00326$	$0^{s},00259$	$0^{s},00249$	$0^{s},00260$	$0^{s},00289$	$0^{s},00245$	$0^{s},00239$
Pression à la bouche (calculée)...	314	318	272	372	361	505	566	365	378
Pression à la bouche (observée)...	323	343	311	313	318	»	»	331	328
Pression à la bouche id., compensée.	309	274	261	315	336	504	570	364	363

(1) Point d'inflexion de la courbe des pressions en fonction des espaces.

(2) Point d'inflexion de la courbe des pressions en fonction des temps.

(3) A la bouche de la pièce.

Digitized by Google

Dans ces exemples, le paramètre α a été calculé en tenant compte de la demi-masse de la charge, comme il est dit plus haut.

Ainsi simplifiée, la méthode me semble susceptible d'applications pratiques; pour les faciliter, je donne ci-dessous des Tables sommaires des différentes fonctions du paramètre α entrant dans les formules et Tableaux qui précèdent : elles sont suffisantes pour traiter tous les cas où le phénomène se produit dans des conditions normales.

α.	Z.	P(α).	$\Theta(\alpha)$.	$\Phi(\alpha)$.	$V(\alpha)$.
1,2	2,30	0,627	0,915	0,141	0,394
1,3	2,63	0,515	0,766	0,108	0,357
1,4	2,92	0,427	0,667	0,087	0,333
1,5	3,18	0,360	0,593	0,074	0,319
1,6	3,40	0,308	0,540	0,065	0,311
1,7	3,62	0,264	0,497	0,058	0,303
1,8	3,83	0,227	0,460	0,053	0,296
1,9	4,03	0,195	0,427	0,048	0,290
2,0	4,23	0,168	0,398	0,044	0,285
2,1	4,42	0,145	0,374	0,041	0,281
2,2	4,60	0,126	0,353	0,039	0,278
2,3	4,78	0,109	0,335	0,037	0,276
2,4	4,95	0,095	0,319	0,035	0,275
2,5	5,11	0,084	0,306	0,033	0,274
2,6	5,27	0,074	0,293	0,031	0,273
2,7	5,43	0,065	0,281	0,030	0,272
2,8	5,59	0,057	0,270	0,029	0,271
2,9	5,75	0,050	0,259	0,027	0,270
3,0	5,90	0,044	0,250	0,026	0,269

Digitized by Google

ÉTUDE

SUR LE ROLE DES DISCONTINUITÉS

DANS LES PHÉNOMÈNES DE PROPAGATION;

PAR

M. VIEILLE,

Ingénieur en chef des poudres et salpêtres.

INTRODUCTION.

J'ai reconnu, au cours d'expériences sur la vitesse de propagation de la détonation dans des mélanges gazeux explosifs, qu'une condensation violente, produite par une petite charge explosive employée comme excitateur, se propageait dans le milieu avec des vitesses énormes, alors même que la détonation de ce milieu n'était pas obtenue, c'est-à-dire qu'il fonctionnait comme inerte.

Cette première observation m'a conduit aux recherches qui font l'objet du présent travail, c'est-à-dire à l'étude des vitesses de propagation d'ébranlements intenses dans des milieux inertes en repos.

Ces recherches m'ont montré que le phénomène de propagation à grande vitesse était tout à fait général.

Toutes les fois que des condensations intenses sont produites, on peut observer, à une distance convenable du centre de production, des vitesses pouvant atteindre deux à quatre fois la vitesse normale du son.

Si la condensation initiale n'est pas soutenue, ce qui est, par exemple, le cas dans la combustion de faibles charges explosives, ces vitesses s'amortissent avec une extrême rapidité et ne peuvent être observées que sur des parcours de quelques mètres.

Digitized by Google

Si la condensation est soutenue, soit par l'action d'un piston mobile à grande vitesse, c'est le cas d'un projectile se mouvant dans l'air, soit par une réaction chimique compensant l'affaiblissement de l'onde au fur et à mesure de sa translation, c'est le cas de la détonation des matières explosives, on observe des vitesses constantes sur de grands parcours, bien que ces vitesses puissent atteindre des valeurs bien supérieures à la vitesse du son.

Ces grandes vitesses de propagation ne s'expliquent pas par la théorie de la propagation d'un ébranlement, tant qu'on admet qu'il y a continuité entre les états du milieu avant et après la perturbation. Elles s'expliquent, au contraire, si l'on suppose l'existence des discontinuités que Riemann et Hugoniot (1) ont considérées comme une conséquence nécessaire de la vitesse de propagation variable des ondes élémentaires inégalement condensées.

Ces phénomènes présentent, outre leur intérêt théorique, une importance pratique considérable. Ils interviennent dans toutes les applications explosives et régissent la loi de répartition des pressions dans les tubes ou galeries, notamment les surpressions anormales observées, soit dans les bouches à feu, soit dans les galeries de mine.

Les phénomènes de discontinuité paraissent également jouer un rôle fondamental dans le mécanisme de la détonation des mélanges explosifs; les vitesses considérables observées sur ces mélanges se trouvent ramenées en effet aux vitesses de propagation d'une discontinuité dans un milieu inerte, mais avec cette condition particulière que la discontinuité est entretenue sans amortissement par la réaction chimique provoquée au passage de l'onde en raison d'une loi spéciale de compression adiabatique dynamique dont Hugoniot a donné l'expression remarquable.

---

(1) HUGONIOT, *Mémoire sur la propagation du mouvement dans les corps* (*Journal de l'École Polytechnique*, Cahier LVII; 1887).

Digitized by Google

CHAPITRE PREMIER.

THÉORIE DE LA PROPAGATION.

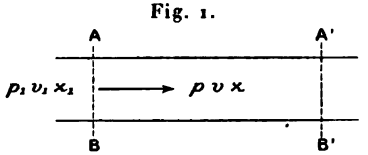
La théorie des phénomènes de propagation dans les gaz parfaits repose sur une notion fondamentale qui n'est pas généralement donnée par les théories classiques de la propagation du son; c'est celle de la vitesse de propagation des ondes élémentaires, variable avec leur condensation et celle de la naissance des discontinuités qui en est la conséquence nécessaire.

La théorie analytique de ces phénomènes a été donnée par Riemann et Hugoniot; ce dernier l'a rattachée à l'étude des caractéristiques des surfaces représentatives des intégrales de l'équation différentielle du mouvement.

La démonstration géométrique suivante, donnée par Hugoniot pour établir la valeur de la vitesse de propagation d'une discontinuité, s'applique au cas général et permet d'arriver beaucoup plus simplement aux notions essentielles relatives à la propagation des ondes par tranches parallèles ou en tuyau cylindrique.

Considérons une tranche AB (*fig.* 1) atteinte au temps t par

Fig. 1.



une perturbation caractérisée par la pression p_1, la dilatation z_1 et la vitesse v_1; en aval de AB, le milieu est caractérisé par les valeurs analogues p, v, z. Au bout du temps dt, la perturbation p_1, v_1, z_1 a envahi une longueur dx du milieu p, v, z, longueur du milieu comptée dans son état initial sous la densité ρ_0, et le volume AB A'B' est passé à l'état p_1, v_1, z_1.

Appliquons le théorème des quantités de mouvement en projection sur l'axe du tube, on a

$$\rho_0 (v_1 - v)\, dx = (p_1 - p)\, dt. \tag{1}$$

Digitized by Google

On a d'autre part, pour la variation de longueur de la tranche,

$$(z_1 - z)\,dx = -(v_1 - v)\,dt; \tag{2}$$

d'où

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{-\frac{1}{\rho_0}\frac{p_1 - p}{z_1 - z}}. \tag{3}$$

Ainsi donc, quelle que soit la nature de la perturbation sans restriction d'aucune sorte, relative à la continuité, la vitesse de propagation n'est pas fonction directe du temps, elle s'exprime en fonction de la loi particulière qui lie l'accroissement de pression à l'accroissement de dilatation.

Cas de la continuité.

Supposons que les perturbations se succèdent suivant une loi continue, l'expression (3) devient

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{-\frac{1}{\rho_0}\frac{dp}{dz}}. \tag{4}$$

1° *Propagation dans un milieu en repos.* — Supposons que le milieu en aval de AB soit un gaz parfait en *repos primitif,* de densité ρ_0, de pression p_0 et de condensation nulle ($z = 0$); autrement dit, supposons que l'on considère la perturbation du front de l'onde. Le milieu éprouve une transformation adiabatique régie par la loi statique

$$p(1 + z)^m = p_0;$$

où m désigne le rapport des chaleurs spécifiques. Par suite

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{pm}{1 + z}.$$

En substituant, on obtient l'expression classique de la vitesse du son

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{m p_0}{\rho_0}};$$

le rapport $\frac{p_0}{\rho_0}$ de la pression primitive du gaz à sa densité, à une même température, est constant pour les gaz auxquels la loi de Mariotte est applicable. La vitesse de propagation est donc constante, quelle que soit la loi d'attaque.

Il était d'ailleurs évident que, dans l'hypothèse de la continuité,

Digitized by Google

qui implique que la perturbation attaque le milieu en repos par des dilatations infiniment petites, la vitesse de propagation devait être la vitesse théorique du son dont l'expression est établie précisément dans la même hypothèse. On voit donc que la nature et la grandeur des perturbations qui suivent la perturbation infiniment petite de tête n'influent pas sur la vitesse, et que la vitesse de propagation des condensations élémentaires les unes dans les autres n'agit que sur la déformation de l'onde.

2° *Propagation des condensations les unes dans les autres.* — La formule (4) permet d'évaluer la vitesse de pénétration des perturbations élémentaires les unes dans les autres.

Si le milieu en aval de AB est déjà perturbé par une transformation adiabatique qui l'a amené à l'état p, v, z, dx n'est pas la longueur réelle, par rapport à des repères fixes, parcourue par la perturbation AB. La condensation du milieu à l'instant de son invasion étant z, cette longueur est $dx\ (1+z)$. La vitesse réelle par rapport à des repères fixes est donc

$$V = \frac{dx}{dt}(1+z) = \sqrt{-\frac{1}{\rho_0}\frac{dp}{dz}(1+z)^2}.$$

Or, on démontre que, lorsqu'il y a continuité, la loi adiabatique statique est applicable aux déformations élémentaires de l'onde en mouvement.

On a donc, comme dans le cas du repos,

$$\frac{dp}{dz} = \frac{-mp}{(1+z)};$$

d'ailleurs le poids de la tranche restant constant

$$\rho = \frac{\rho_0}{1+z};$$

d'où

$$V = \sqrt{\frac{mp}{\rho}}.$$

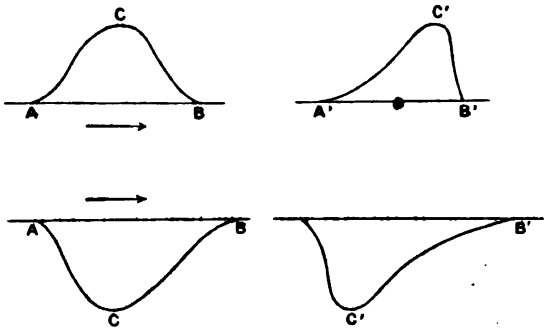
La vitesse de propagation d'une condensation élémentaire est donc variable : en effet, le rapport $\frac{p}{\rho}$, constant dans la compression isotherme, croît rapidement avec la pression dans la compression adiabatique.

Digitized by Google

Naissance des discontinuités.

Par suite, dans une onde continue ACB (*fig.* 2) se propageant dans le sens AB, le maximum C d'une condensation se rappro-

Fig. 2.



chera des condensations de tête et s'éloignera des condensations de queue.

Inversement, une dilatation maxima C se rapprochera de l'arrière de l'onde ou, plus exactement, se laissera rattraper par les dilatations les plus faibles.

De là résulte nécessairement, comme l'ont montré Riemann et Hugoniot, la naissance après un certain parcours d'une discontinuité résultant de l'arrivée, en tête de l'onde, de condensations présentant une différence de pression, de vitesse et de condensation finie avec le milieu non perturbé.

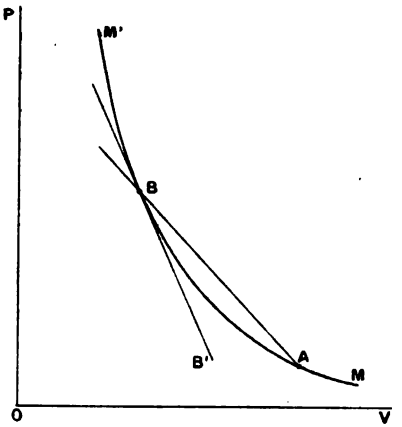
L'expression purement géométrique de la vitesse de propagation reste applicable, mais la dérivée $\frac{dp}{dz}$ est remplacée par le quotient $\frac{\Delta p}{\Delta z}$.

Si la loi adiabatique statique était applicable, ce quotient représenterait le coefficient angulaire de la corde AB de la courbe adiabatique MM' du diagramme de Clapeyron (*fig.* 3), où les abscisses sont proportionnelles aux volumes, c'est-à-dire à $(1+z)$, et les ordonnées aux pressions. Hugoniot a montré qu'il n'en était pas ainsi; dans une transformation discontinue, la loi adiabatique statique n'est plus applicable et le milieu met en jeu une nouvelle élasticité spéciale, élasticité *adiabatique dynamique,* très supé-

Digitized by Google

rieure à l'élasticité statique et qui permet à des condensations modérées de se propager avec des vitesses pouvant croître au delà de toute limite. Sans entrer dans la démonstration proprement dite.

Fig. 3.



on peut établir la nécessité de cette loi nouvelle par les considérations suivantes :

Le principe de l'équivalence permet d'écrire dans tous les cas que la somme de la variation de la force vive et de la variation d'énergie interne d'une tranche est égale au travail des forces extérieures sur cette tranche.

Lorsqu'il y a continuité et que, par suite, la transformation est infiniment petite, cette relation se scinde en deux en raison de l'application des principes du calcul différentiel; on écrit, en effet, par l'équation du mouvement du centre de gravité de la tranche que la variation de force vive est égale au travail des forces appliquées à cette tranche considérée comme solide invariable; il en résulte que la variation d'énergie interne correspond exactement au travail de déformation de la tranche, abstraction faite du mouvement de son centre de gravité. Or, c'est précisément cette égalité qui fournit la loi adiabatique statique qui reste donc applicable dans toute transformation continue.

Lorsque, au contraire, la continuité n'existe plus et que la transformation est finie, il n'est plus possible de scinder la relation fournie par le principe de l'équivalence, la force vive et l'énergie interne de la tranche se transmutent sous l'influence du travail

Digitized by Google

des forces extérieures, et l'on voit apparaître une loi de compressibilité adiabatique dynamique dont Hugoniot a donné l'expression remarquable.

En même temps que la tranche envahie par la discontinuité est mise en vitesse, une partie de la force vive qui lui est cédée se dépense en un accroissement de son énergie interne et élève la pression et la température à des valeurs beaucoup plus considérables que celles qu'elle atteindrait pour la même condensation dans la compression adiabatique statique.

A la relation statique

$$p_1 = p\left(\frac{1+z}{1+z_1}\right)^m$$

se substitue la relation adiabatique dynamique

$$p_1 = p\,\frac{2(1+z)-(m-1)(z_1-z)}{2(1+z)+(m+1)(z_1-z)}.$$

En portant dans l'expression de la vitesse de propagation, il vient

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{p}{\rho}\,\frac{2m}{2+(m+1)z_1}}.$$

p et ρ désignant la pression et la densité du milieu supposé en repos avant la perturbation, et z_1 la condensation finie qui l'envahit par propagation de la discontinuité.

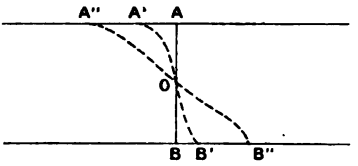
Cette expression suppose les gaz parfaits et le rapport des chaleurs spécifiques constant. Si l'on admet pour m la valeur $1,40$, on voit qu'il suffirait que la condensation (z_1 négatif) atteignît la valeur $\frac{5}{6}$, ou que le volume de la tranche fût réduit au $\frac{1}{6}$ pour que la vitesse s'accrût au delà de toute limite.

Sens de propagation d'une discontinuité. — Considérons le cas de deux milieux en repos sous des pressions différentes, séparés par une cloison résistante AB (*fig.* 4). Supposons que, par la rupture de ce diaphragme, il s'établisse, en un temps très court, une loi de raccordement très brusque mais continue entre ces deux milieux suivant A'B'. Les tranches comprises entre B et B' sont comprimées et celles comprises entre A et A' dilatées. La vitesse de propagation dans le sens AA' de la dilatation infi-

Digitized by Google

niment petite A′ est supérieure à celle des dilatations qui la suivent. La courbe A′O s'étale donc en A″O. Inversement, la vitesse de propagation de la condensation infiniment petite B′ est

Fig. 4.



plus faible que celle des condensations qui suivent. La courbe OB′ se raidit donc en OB″. Une discontinuité naîtra par suite du côté B″ des pressions faibles après un certain parcours si elle n'a pu prendre naissance instantanément au moment de la rupture. Il y aura, au contraire, atténuation de la raideur de l'onde du côté des pressions élevées. Le phénomène de discontinuité n'est donc *stable* que dans une seule direction, celle de l'écoulement de la masse gazeuse.

En résumé la théorie établit :

1° Qu'en l'absence de discontinuité sur le front de l'onde la vitesse de propagation ne peut être que la vitesse normale du son;

2° Que si la loi d'ébranlement met en jeu des condensations considérables il doit y avoir forcément, à une distance d'autant plus courte que la loi de variation des condensations est plus rapide, production d'une discontinuité qui chemine vers l'aval avec des vitesses pouvant croître au delà de toute limite.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES EXPÉRIENCES.

MESURE DES VITESSES DE PROPAGATION DES CONDENSATIONS INTENSES DANS LES TUBES CYLINDRIQUES.

Dans la plupart des expériences sur la vitesse du son, de grandes condensations ont été utilisées comme phénomène excitateur. Regnault notamment a décrit des dispositifs variés comportant l'emploi de charges explosives déflagrant sous des pressions très élevées et le mode d'excitation par coups de canon ou de pistolet a été généralement adopté. Mais dans ces expériences les mesures n'ont jamais porté sur les parcours très réduits sur lesquels ces grandes condensations subsistaient. Dans les expériences sur les tubes cylindriques les dispositions adoptées n'assuraient pas la propagation par tranches parallèles dès les premiers instants. Le phénomène ne se régularisait qu'à grande distance du point d'excitation. Aussi, dans toutes les mesures, cette période initiale a-t-elle été systématiquement éliminée ou rendue négligeable vis-à-vis des durées de parcours considérables enregistrées.

Dans ces conditions, ces mesures ne sont affectées que d'une influence résiduelle des grandes condensations sur la propagation du son; elles ne concernent pas le phénomène lui-même.

Disposition des charges ou systèmes excitateurs.

Je me suis proposé d'obtenir le fonctionnement par tranches parallèles aussi voisin que possible du point d'excitation.

A cet effet, j'ai pris soin que la condensation produite occupât dès sa naissance la totalité de la section du tube.

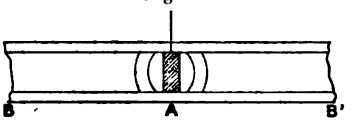
Charges. — Lorsque la condensation était produite par un explosif la charge était placée dans une cartouche d'un diamètre voisin de celui du tube.

Digitized by Google

Ampoules. — De même, lorsque la condensation était produite par des gaz comprimés, ces gaz étaient accumulés dans une ampoule ou ballon d'un diamètre voisin de celui du tube. Il est vraisemblable que la rupture ou l'explosion de ces systèmes doit donner presque immédiatement lieu à des propagations par tranches parallèles.

On vérifie d'ailleurs indirectement l'exactitude de cette hypothèse en constatant l'identité des temps employés par la

Fig. 5.



condensation A à effectuer des parcours symétriques AB et AB′ (*fig.* 5).

Diaphragmes. — J'ai également utilisé la rupture de diaphragmes formés de lames minces de verre, papier, clinquant ou collodion, d'une section égale à la section du tube, dont la pulvérisation sous une pression convenable permettait l'établissement presque instantané du fonctionnement par tranches parallèles.

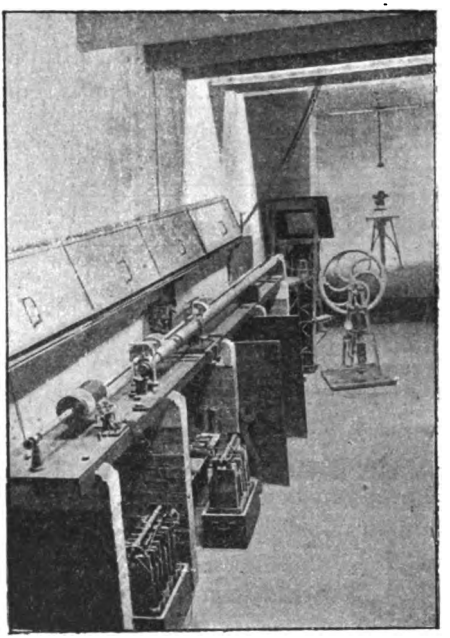
Mode d'enregistrement.

Dans toutes les expériences le passage des condensations a été enregistré par des dispositifs manométriques. A cet effet, on inscrivait le mouvement de pistons légers, libres ou maintenus par un ressort antagoniste. L'avantage principal de ce système résulte de la continuité des indications qui permet d'éliminer des causes d'erreur accidentelles dues aux trépidations ou aux déplacements d'ensemble des appareils que les signaux électriques ne permettent pas de reconnaître d'une façon aussi facile. Cet avantage est surtout marqué dans les phénomènes de propagation mettant en jeu des pressions élevées et comportant des mouvements gazeux énergiques. En fait, les premiers essais que j'ai entrepris à l'aide de signaux électriques fonctionnant par inertie ont toujours donné les durées correspondant à la propagation de l'ébranlement initial dans le métal du tube, c'est-à-dire sans rapport avec le phénomène à étudier.

Digitized by Google

Les signaux étaient fournis par le déplacement de pistons affleurant la surface intérieure du tube, disposés soit aux extrémités du tube et se mouvant suivant son axe, soit disposés nor-

Fig. 6.



malement à l'axe du tube en divers points de sa longueur. Les pressions se trouvaient donc directement appliquées sans intermédiaire à l'organe enregistreur.

Le mouvement des pistons s'inscrivait soit sur un même cylindre tournant, soit sur des cylindres identiques montés sur un même arbre et possédant par suite des mouvements identiques. Des repères tracés avant et après l'expérience, sur les cylindres immobiles par un déplacement des pistons, fournissent avec une extrême précision les points des tracés à comparer qui passaient sous les plumes au même instant.

Ces dispositions nous ont paru indispensables pour l'évaluation rigoureuse de temps très courts.

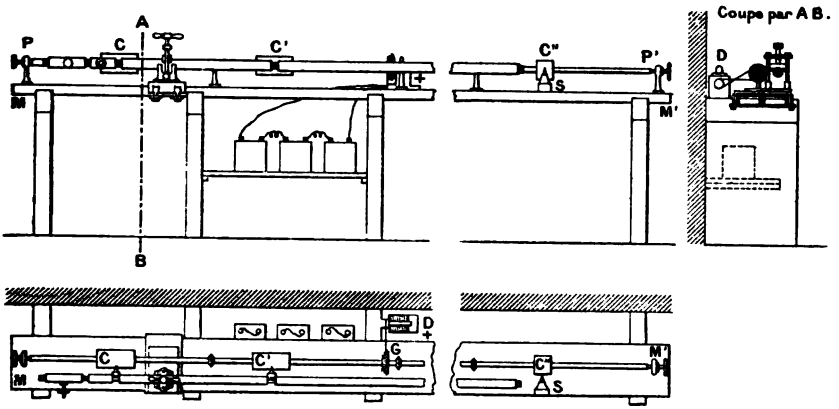
Disposition des cylindres tournants. — Elle a été réalisée

Digitized by Google

comme l'indiquent les *fig.* 6 et 7. Un axe PP′ formé d'un tube creux de 20^{mm} de diamètre, de $4^{m},50$ de longueur, est monté sur pointes et soutenu de mètre en mètre par des paliers fixés sur une solide table métallique formée de deux fers en U accolés et scellés sur des murettes en maçonnerie.

Sur cet axe peuvent glisser et se fixer en des points quelconques des cylindres C, C′, C″ de même diamètre, destinés à recevoir les

Fig. 7.



inscriptions sur une bande enfumée. L'axe est mis en mouvement au moyen d'une poulie à gorges G par un petit moteur électrique D.

La vitesse de rotation est évaluée au moment voulu par une touche de diapason S donnant 500 vibrations doubles par seconde.

La vitesse circonférentielle a varié de 3^{m} à 9^{m} par seconde.

Disposition des tubes. — Le tube était fixé sur le même bâti que les cylindres au moyen d'étriers métalliques permettant un serrage intense qui s'est trouvé parfois insuffisant pour empêcher tout déplacement du système dans les expériences portant sur des charges explosives importantes.

Les tubes expérimentés avaient 22^{mm} de diamètre. Dans les essais à haute pression ces tubes étaient formés de tronçons de $1^{m},50$, 1^{m}, $0^{m},40$ et $0^{m},20$ de longueur, pouvant être vissés bout

Digitized by Google

à bout par des raccords de même diamètre intérieur. Ces tubes de grande résistance, 25^{mm} d'épaisseur, pouvaient supporter des pressions de 3000 à 4000 kilogrammes par centimètre carré.

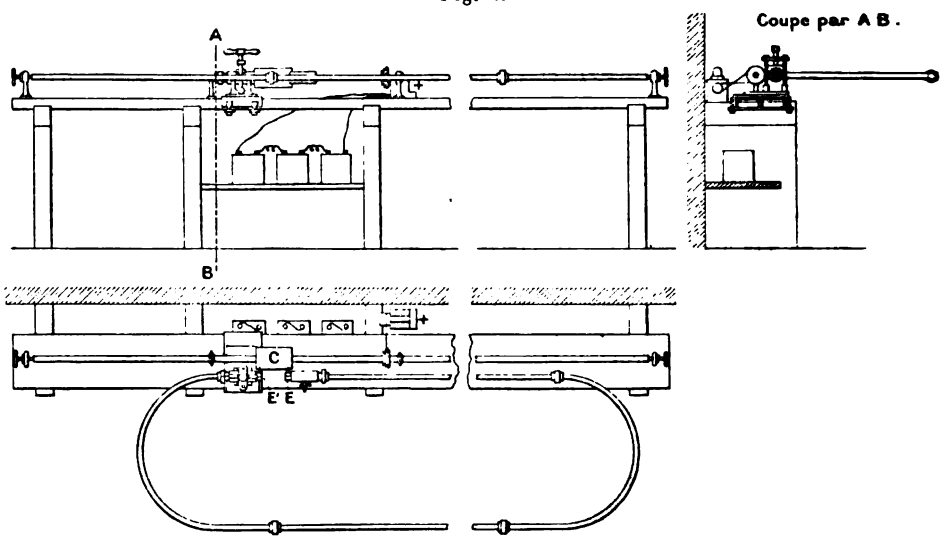
Dans les expériences de propagation à grande distance on complétait ce premier système par des rallonges composées de tubes étirés de même diamètre $21^{mm},5$ à 22^{mm} et de 2^{mm} d'épaisseur se raccordant par tronçons de 1^{m} et de 2^{m} au moyen d'écrous.

Dans les essais de propagation à courte distance ne dépassant pas 4^{m} le tube rectiligne était disposé parallèlement à l'axe du cylindre tournant, et l'on inscrivait les signaux sur les cylindres tournants convenablement espacés.

Pour les distances plus grandes on disposait les tubes sur deux lignes parallèles raccordées à leurs extrémités par des coudes circulaires dont le diamètre, $1^{m},50$, était grand par rapport au diamètre du tube.

Les extrémités des tubes se trouvaient alors rapprochées et

Fig. 8.



l'inscription pouvait s'effectuer sur un même cylindre, comme l'indique la *fig.* 8.

Les expériences ont pu être faites ainsi jusqu'à 32^{m}. L'influence des coudes a été établie par des expériences comparatives spéciales.

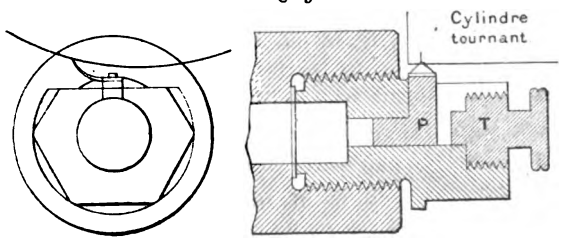
Digitized by Google

Dispositifs d'inscription.

Inscription aux extrémités du tube — Dans un grand nombre d'essais les deux extrémités du tube étaient fermées par des bouchons en acier dans lesquels pouvaient se mouvoir, suivant l'axe du tube, des pistons en acier ou en aluminium munis de plumes traçant sur les cylindres tournants.

La *fig.* 9 donne la disposition d'un bouchon muni d'un piston court et léger en aluminium P. Ce piston P très mobile se mou-

Fig. 9.

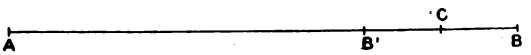


vait sous des pressions de quelques grammes par centimètre carré. Sa course est limitée par le tampon fixe T. Dans certaines expériences à haute pression le piston n'était pas libre; il était contrebuté soit par de petits cylindres de cuivre dont la loi de résistance était connue en fonction de l'écrasement, soit par des ressorts à double barreau.

Les deux extrémités du tube étant occupées par les dispositifs enregistreurs, le système excitateur (cartouche explosive ou ampoule de gaz comprimé) était forcément interposé entre les deux extrémités. Un orifice latéral, percé à une petite distance de l'un des fonds, qui a varié de 0^{mm} à 50^{mm}, permettait d'introduire dans l'axe du tube soit une charge explosive occupant toute la section, soit une ampoule d'un diamètre voisin de celui du tube.

L'inflammation de la charge obtenue par l'incandescence d'un

Fig. 10.



fil fin, au moyen d'un courant électrique ou la rupture de l'ampoule sous des pressions croissantes, détermine la formation

Digitized by Google

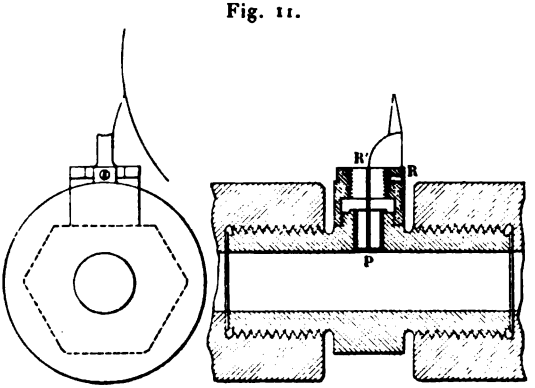
d'une condensation qui se propage vers les extrémités. L'intervalle de temps qui sépare le premier déplacement des deux pistons correspond à la durée de parcours de la condensation depuis le point B′ symétrique de l'extrémité B par rapport au centre de la charge voisine C jusqu'à l'extrémité opposée A (*fig.* 10).

Cette disposition diminue de quelques centimètres la longueur de parcours utile, mais elle a l'avantage d'éliminer les perturbations possibles dans les premiers instants de la combustion.

Il convient également de signaler que l'inscription sur les fonds fixes du tube ne permet pas de séparer nettement le phénomène de propagation de l'onde du balancement général de la masse gazeuse du tube mise en vitesse par le passage de cette onde.

Inscription latérale. — Ce mode d'enregistrement permet d'obtenir les signaux en un point quelconque du parcours de l'onde et d'éliminer, par suite, l'influence des phénomènes de réflexion. Il dispense également, puisque les signaux peuvent être obtenus d'un même côté du phénomène excitateur, de recourir

Fig. 11.



à des dispositifs symétriques tels que des ampoules dont le volume est alors très restreint; il permet l'emploi des diaphragmes divisant le tube en deux régions dont les rapports de volume sont quelconques. La *fig.* 11 représente un enregistreur logé dans un des raccords servant à réunir les tronçons du tube de 22^{mm} qui a servi aux expériences.

Le piston P, de 1^{cmq} de section ($11^{mm},3$ de diamètre), affleure la paroi interne du tube. Il reçoit donc l'influence directe du passage

Digitized by Google

de l'onde sans introduire de perturbation appréciable dans la section. Ce piston est évidé, de façon que son poids se trouve réduit à 5^{gr}. La course est limitée à 5^{mm} par une butée fixe. Un ressort à pincette R'R, dont l'une des branches est fixée latéralement en R par des vis sur le raccord, repose par l'extrémité de l'autre branche dans une petite crapaudine ménagée au centre de la base du piston. Une plume en clinquant d'acier, soudée à la branche cintrée supérieure, décrit, lorsque le piston se déplace, une courbe sensiblement normale à l'axe de ce piston.

Ce dispositif permet de réaliser, d'une façon simple et sans renvoi de mouvement, l'enregistrement direct du mouvement du piston normal à l'axe du tube sur des cylindres solidaires montés sur un même arbre parallèle à l'axe du tube; condition qui, ainsi que nous l'avons dit plus haut, paraît essentielle à l'exacte mesure de temps très courts; le synchronisme rigoureux du mouvement de cylindres à axes parallèles ne paraît pas, en effet, susceptible d'être obtenu par des moyens simples.

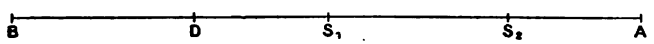
Plusieurs couples de ressorts de raideur variable ont été utilisés dans les expériences suivant l'importance des condensations à enregistrer. La flexion maximum limitée par la butée était atteinte, pour le 1^{er} couple, à la pression de $1^{kg},6$

2^{e} » 10

3^{e} » 22

Enregistrement des dépressions. — Ces ressorts ont également permis d'enregistrer la propagation d'une dépression résultant de la rupture d'un diaphragme dans la portion du tube formant réservoir à haute pression. Soient D le diaphragme (*fig.* 12),

Fig. 12.



DA la chambre de pression, S_1, S_2 les enregistreurs à ressorts. On comprimait le gaz en AD, sous une pression voisine de la pression de rupture. La raideur des ressorts avait été choisie de façon que, pour cette pression, les pistons vinssent toucher leur butée d'arrêt. On mettait en mouvement le cylindre tournant et les plumes traçaient des circonférences qu'un léger accroissement

Digitized by Google

ultérieur de pression ne modifiait plus. Cet accroissement de pression déterminait la rupture de la membrane D, et les ressorts S_1 et S_2 donnaient un signal se détachant avec netteté du cercle extrême, mais correspondant à une dépression finie.

CHAPITRE III.

PRODUCTION SPONTANÉE DES DISCONTINUITÉS.

La théorie développée dans le Chapitre I montre que la propagation par discontinuité n'est pas liée, en principe, à la brusquerie du mode d'excitation, ni à la raideur du front de l'onde initiale. C'est par le jeu des différences de vitesse des ondes élémentaires dans lesquelles peut se subdiviser l'onde totale que le front de cette onde se raidit progressivement jusqu'à la suppression de son raccordement avec le milieu non ébranlé.

On doit donc observer dans tous les cas, après un parcours suffisant, la discontinuité, alors même que l'onde initiale est produite dans des conditions qui assurent à l'origine sa continuité avec le milieu.

Mais en pratique, si l'on veut observer facilement le phénomène à distance modérée du point d'excitation, il convient de recourir à des ondes fortement condensées et dont le front de raccordement soit suffisamment raide. La combustion d'explosifs à déflagration rapide constitue, semble-t-il, le seul moyen de réaliser ces conditions, si l'on exclut les dispositifs mécaniques fondés sur la rupture d'enveloppes ou de diaphragmes qui pourraient être *a priori* considérés comme des causes de discontinuité *distinctes* de celle que fait prévoir la théorie.

La naissance de ces discontinuités spontanées peut être mise en évidence par deux méthodes, soit directement, en enregistrant la loi de déformation de l'onde à mesure qu'elle se propage; soit indirectement, en constatant des vitesses de propagation moyennes bien supérieures à la vitesse normale du son dans le milieu.

Digitized by Google

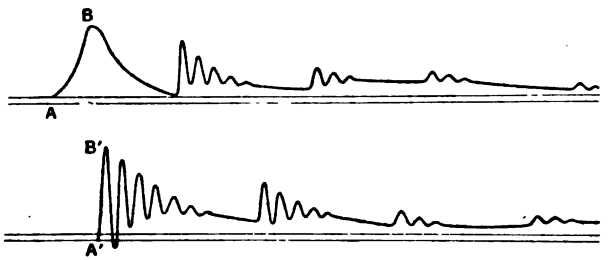
Je vais passer en revue des vérifications effectuées par ces deux méthodes.

PREMIÈRE MÉTHODE.

Déformation d'une onde au cours de sa propagation. — Ces données ont été recueillies au cours de recherches sur la répartition des pressions produites dans un tube par une charge explosive placée à l'une de ses extrémités.

I. Une première série d'essais concerne la déflagration d'une charge de poudre de chasse de 13^{gr} placée à l'extrémité d'un tube de 22^{mm} de diamètre et de $2^{m},43$ de longueur. Cette charge occupait une longueur de 40^{mm} à partir de l'un des fonds. A chaque extrémité était placé, soit un manomètre à écrasement de cylindres de cuivre, qui mesurait la pression maximum; soit un manomètre à ressort formé de barreaux dont les flexions étaient enregistrées sur un cylindre tournant avec une vitesse connue. La période oscillatoire de ces ressorts était de $\frac{1}{2}$ millième de seconde environ et, suivant un fonctionnement analogue à celui des manomètres crushers que M. Sarrau et moi avons antérieurement étudiés, ces ressorts sont susceptibles d'enregistrer *statiquement* des lois de développement de pressions d'une durée supérieure au triple de

Fig. 13.



leur période propre; ils prennent, au contraire, un fonctionnement oscillatoire dynamique pour des lois de développement plus brusques, et, au fur et à mesure que la durée d'attaque se réduit et se rapproche d'une percussion, on voit le tracé se confondre avec l'oscillation propre du ressort et l'élongation maximum s'inscrire dans la durée d'oscillation normale (*fig.* 13).

La pression moyenne produite dans le tube était de 45^{kg} par centimètre carré correspondant à une densité de chargement 0,015.

Digitized by Google

Sur le fond du tube adjacent à la charge, en raison de la dissymétrie, la pression s'élevait à 150^{kg} et, sur le fond opposé, cette pression atteignait 75^{kg}.

Les tracés ci-dessus, amplifiés dix fois par la photographie, mettent en évidence le régime oscillatoire des pressions. La vitesse de propagation déduite d'une dizaine d'oscillations visibles sur les tracés est de 600^{m} environ. Mais la première inscription sur chacun des fonds présente une particularité essentielle : du côté de la charge, à l'instant de sa combustion, la pression se développe avec une lenteur suffisante pour assurer en AB le fonctionnement statique du ressort ; du côté opposé, au contraire, l'onde se présente comme une percussion et l'élongation A'B' est obtenue dans la durée de la période propre du ressort. Ce même caractère subsiste après la réflexion et l'onde de retour qui revient du côté de la charge actionne cette fois dynamiquement le ressort. Les percussions se poursuivent dans les réflexions successives, et c'est par l'arrière que se produit l'étalement de l'onde.

Huit tracés obtenus dans les mêmes conditions présentent des caractères identiques.

Ces tracés laissent toutefois douteuse la question de savoir si la transformation subie par l'onde n'est pas liée au phénomène de la réflexion.

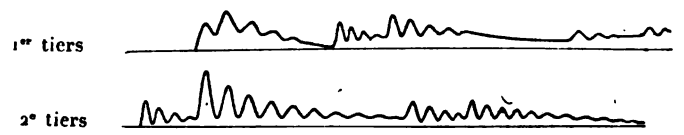
II. Dans une deuxième série d'expériences, j'ai cherché à trancher la question en recueillant les tracés non plus aux extrémités du tube, mais en des points intermédiaires par inscription latérale au premier et au deuxième tiers de la longueur de l'éprouvette.

Ces expériences ont été effectuées dans un tube de 22^{mm} de diamètre identique au précédent, mais de $3^{m},70$ de longueur. La charge de poudre noire extrafine occupait, à l'une des extrémités, une cartouche en papier mince de 20^{mm} de diamètre et 120^{mm} de longueur. Des appareils crushers mesuraient les pressions aux deux extrémités et des manomètres à ressort, de période vibratoire égale à $\frac{1}{2}$ millième de seconde, enregistraient les pressions au premier et au deuxième tiers du tube. La pression moyenne était de 100^{kg}. Du côté de la charge, elle s'élevait à 1000^{kg}, et du côté opposé à 330^{kg}.

Digitized by Google

Les tracés ci-après (*fig.* 14) montrent nettement la transformation progressive de l'onde. Au premier tiers, l'onde, déjà d'une grande raideur, inscrit son développement avec une faible oscillation du ressort qui n'empêche point de reconnaître l'allure de la courbe montante, qui est obtenue en trois vibrations simples environ. Au deuxième tiers, au contraire, le ressort est attaqué

Fig. 14.



brusquement par une pression instantanément décroissante, mais beaucoup plus faible que celle qui avait atteint le premier ressort. Le raidissement progressif de l'onde est donc mis en évidence, indépendamment du mécanisme de la réflexion.

Ces tracés montrent, en outre, le phénomène très général du renforcement de l'onde par la réflexion, en raison du déferlement de la masse gazeuse contre la paroi fixe des fonds. On voit, en effet, que l'onde de retour au deuxième tiers de l'éprouvette est beaucoup plus intense que l'onde incidente du premier parcours. Cette onde se propage en s'affaiblissant à son tour et repasse affaiblie au premier tiers, mais nous la voyons de nouveau se renforcer par réflexion, et le même fonctionnement se poursuit dans les réflexions successives.

Il convient donc de distinguer avec soin la propagation et l'affaiblissement d'une onde initiale et les phénomènes de renforcement aux extrémités du tube dus aux balancements de la masse gazeuse mise en vitesse par le passage de l'onde et se comprimant alternativement contre les parois fixes extrêmes.

Cette observation me paraît expliquer la discordance apparente de ces résultats relatifs au raidissement progressif de l'onde et de ceux qu'ont fournis les remarquables expériences de MM. Violle et Vauthier, effectuées à Grenoble.

Dans la loi de compression enregistrée par ces physiciens aux extrémités d'un tube de grande longueur, je pense que la discontinuité de tête se trouve réduite à une valeur extrêmement faible, qui ne se traduit que par un départ très net de l'appareil

Digitized by Google

inscripteur; la compression relativement intense, enregistrée ensuite, est due au balancement général de la masse gazeuse mise en mouvement par le passage de la condensation, et il y a lieu de penser que les périodes oscillatoires de la condensation motrice, d'une part, et de la masse gazeuse du tube entraînée d'autre part, ne sont pas primitivement les mêmes, mais que ces mouvements tendent à se synchroniser avec une différence de phase progressivement croissante, comme l'ont établi MM. Violle et Vauthier.

DEUXIÈME MÉTHODE.

Mesure de la vitesse de propagation des grandes condensations. — Cette série d'expériences a été effectuée dans un tube de 4^{m} de longueur et de 22^{mm} de diamètre, donnant un parcours utile de $3^{m},864$.

Les condensations étaient produites par des charges progressivement croissantes d'explosifs (*poudre de chasse extrafine et fulminate de mercure*), disposés sous forme de cartouches cylindriques en papier, placées au voisinage de l'une des extrémités du tube.

On enregistrait sur les cylindres tournants le premier déplacement de pistons du poids de $10^{gr},5$ en aluminium, ou de 52^{gr} en acier, se mouvant, suivant l'axe du tube, dans les bouchons en acier fermant les deux extrémités.

Le Tableau suivant donne les vitesses de propagation observées dans quatorze expériences.

Les condensations gazeuses résultaient de la vitesse de combustion de la charge explosive, la résistance de l'enveloppe qui renfermait cette charge étant entièrement négligeable dans tous ces essais.

Les valeurs des pressions indiquées au voisinage de la charge ne sont qu'approximatives; elles sont déduites de l'écrasement de cylindres de cuivre par des pistons auxquels une légère course libre de $0^{mm},5$ environ avait été laissée en vue d'obtenir un déplacement sensible sous les plus faibles pressions.

Digitized by Google

TUBE DE 4^m : CAPACITÉ INTÉRIEURE $1^{lit},500$.

NUMÉROS des expériences.	CHARGE.	DENSITÉ de chargement.	PRESSION moyenne par cent. carré.	SURPRESSION au côté mise de feu.	VITESSE de propagation.	POIDS DES PISTONS.
			Poudre de chasse extrafine.			
	g		k	k	m	g
2057	0,24	0,00016	0,5	»	336,8	10,5 aluminium.
2051	0,95	0,000625	2	»	333,2	»
2050	3,80	0,0025	8	»	500,0	»
2049	15,20	0,010	33	$\leqq$ 166	848,0	52 acier.
2041	17,40	0,0116	39	219	931,1	»
2048	45,60	0,030	100	1272	1268,0	»
2047					1013,0	
			Fulminate de mercure.			
2058	0,010	0,0000065	»	»	359,8	10,5 aluminium.
2056	0,040	0,000026	0,125	0,383	403,8	»
2062					396,5	
2060	0,160	0,000103	0,5	»	550,1	»
2052	0,630	0,000417	2	20	591,0	»
2053	2,520	0,00166	8	»	762	52 acier.
2055	10,070	0,00666	33	1306	1138	»

Ces nombres montrent que, à mesure que les condensations initiales s'accroissent, les vitesses moyennes de propagation, sur un parcours de 4^m environ, s'élèvent de la valeur de la vitesse du son à des valeurs quadruples, bien que les condensations produites à l'origine des mouvements restent fort inférieures à celles qui correspondent à l'emploi balistique des explosifs.

Les vitesses observées ne peuvent être considérées que comme des limites inférieures des vitesses de propagation des discontinuités notamment dans le cas de la poudre de chasse dont la combustion relativement lente donne lieu à une onde condensée dont le raccordement initial avec le milieu est beaucoup plus doux que celui fourni par le fulminate.

Remarque I : Influence de l'excitation initiale. — Ce rôle de l'excitation initiale ressort nettement de la comparaison des tracés; je me bornerai à citer comme exemples les nos **2051** et **2052**. Ces tracés ont été obtenus dans des conditions générales identiques avec des charges de poudre noire et de fulminate sus-

Digitized by Google

ceptibles de produire la même pression moyenne dans l'éprouvette, 2^k environ. La vitesse observée avec la poudre noire est la vitesse normale du son, 336^m, tandis que celle fournie par le fulminate s'élève à 591^m. L'examen des tracés inscrits par les pistons légers ($10^g,5$) dans leur course donne l'explication de cette différence.

La lecture des déplacements à des intervalles de temps égaux et très petits fournit les vitesses et les accélérations du piston de masse connue d'où l'on déduit les forces à chaque instant.

Les résultats bruts des lectures sont contenus dans les Tableaux suivants :

POUDRE NOIRE. — CHARGE $0^g,95$.

	CÔTÉ DE LA CHARGE.				CÔTÉ OPPOSÉ A LA CHARGE.			
	Déplacements du piston.	Différences premières.	Différences secondes.	Pressions.	Déplacements du piston.	Différences premières.	Différences secondes.	Pressions.
INTERVALLES de $\frac{4}{4,153}$ $0^s,001995$ soit 2^{ms} environ.	mm 0,07	mm 0,33	mm 0,84	k 0,245	mm 0,05	mm 0,72	mm 1,86	k 0,539
	0,40	1,17	1,51	0,440	0,77	2,58	2,86	0,831
	1,57	2,68	2,61	0,761	3,35	5,44		
	4,25	5,29			8,79			
	9,54							

Les pressions sont nettement croissantes à partir de valeurs très faibles du côté opposé à la charge, comme du côté de la mise de feu, mais elles croissent près de deux fois plus vite du côté opposé à la charge. L'onde, après le parcours de 4^m, est donc encore raccordée avec le milieu, bien que sa raideur ait manifestement augmenté pendant le trajet; la vitesse de propagation reste la vitesse normale du son.

Digitized by Google

FULMINATE DE MERCURE. — CHARGE $0^{g},63$.

	CÔTÉ DE LA CHARGE.					CÔTÉ OPPOSÉ A LA CHARGE.			
	Déplacements du piston.	Différences premières.	Différences secondes.	Pressions.		Déplacements du piston.	Différences premières.	Différences secondes.	Pressions.
INTERVALLES de $\frac{0,5}{3,79}$ $0^{s},001995$ soit $0^{mm},2$ environ.	mm 0,38	mm 2,91	mm 1,30	k 20,09	INTERVALLES de $\frac{2}{3,79}$ $0^{s},001995$ soit $1^{mm},0$ environ.	mm 0,11	mm 1,88	mm 1,75	k 1,69
	3,29	4,21				1,99	3,63	1,40	1,35
	7,50					5,62	5,03		
						10,65			

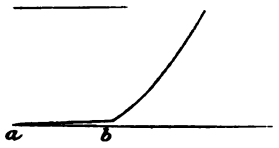
La pression atteint, dès les premiers déplacements du piston du côté de la charge, une valeur considérable décuple de la valeur moyenne correspondant à la répartition uniforme des produits de la combustion. Du côté opposé le piston est abordé par des pressions manifestement décroissantes dès les premiers instants, suivant le fonctionnement attribuable à une discontinuité ayant envahi le front de l'onde après un faible parcours. En même temps la vitesse de propagation s'élève à près du double de la vitesse normale du son.

Remarque II : Influence des longs feux. — L'examen des tracés conduit à une deuxième observation. Quelque rapide que soit la combustion du fulminate de mercure elle ne met pas à l'abri de certains retards ou longs feux, dans l'inflammation d'une charge brûlant librement sans enveloppe résistante. A cette première période de combustion fusante correspond nécessairement, dans la formation de l'onde comprimée, un raccordement avec le milieu en repos plus ou moins accentué suivant les conditions d'inflammation; ce raccordement est suivi, dans le cas du fulminate, d'une ascension brusque de la courbe des pressions comme l'indique la *fig.* 15. Le long feu représenté en *ab* est susceptible de fausser la vitesse de propagation d'une façon importante. On

Digitized by Google

voit en effet que le piston placé au voisinage de la charge commencera son déplacement dès l'apparition des faibles pressions de long feu, tandis que le piston opposé ne sera influencé que par

Fig. 15.



la discontinuité formée par les grandes condensations qui auront rattrapé et envahi après un faible parcours le front de l'onde. Le temps observé entre les deux déplacements sera la somme de deux périodes où l'onde chemine d'abord avec la vitesse du son, puis avec la vitesse de propagation de la discontinuité.

Les longs feux visibles à la simple observation des tracés s'observent même avec les explosifs à combustion rapide tels que le coton-poudre pulvérulent et accidentellement avec le fulminate de mercure : il convient donc de les éliminer par quelque moyen artificiel si l'on veut obtenir sans altération la vitesse de propagation des discontinuités.

CHAPITRE IV.

PRODUCTION ARTIFICIELLE DES DISCONTINUITÉS.

On arrive à faire coïncider sensiblement la discontinuité avec le front même de l'onde condensée initiale en interposant entre le milieu en repos et la source de condensation une enveloppe de masse aussi faible que possible, susceptible de se rompre sous une pression notable.

Dans ces conditions, si le phénomène de rupture était instantané, les premières condensations, abordant le milieu en repos, présenteraient une différence de condensation finie avec le milieu.

En réalité il n'en est pas ainsi et l'on substitue simplement à une période d'émission lente et incertaine un phénomène très

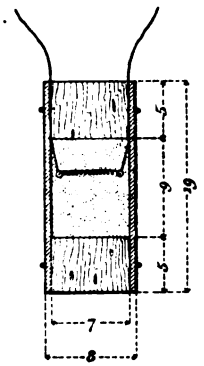
Digitized by Google

court, pendant lequel la masse gazeuse se fait jour à travers les interstices de l'enveloppe. L'expérience montre, par la régularité des résultats obtenus et par l'accroissement considérable des vitesses de propagation, que cette disposition réalise bien son but théorique.

Le procédé peut être utilisé sous diverses formes.

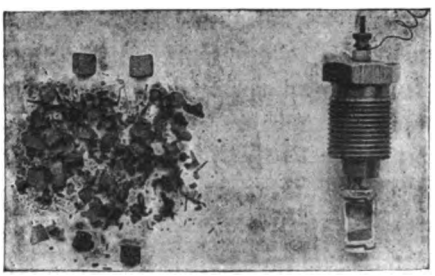
Excitation symétrique. — 1° Avec les explosifs à combustion rapide du genre du fulminate de mercure il suffit d'en-

Fig. 16.



fermer la charge dans de petits cylindres formés de papier enroulé et collé, fermés par des tampons de bois solidement sertis par une ligature métallique, comme l'indique la *fig.* 16. Le cylindre occupe sensiblement toute la section du tube; il est pulvé-

Fig. 18. Fig. 17.



Débris de l'amorce. Bouchon avec amorce.

risé par l'explosion comme l'indiquent les *fig.* 17 et 18, qui

Digitized by Google

montrent, l'une la cartouche fixée sur le bouchon latéral de mise de feu et l'autre, à plus grande échelle, les débris de l'explosion.

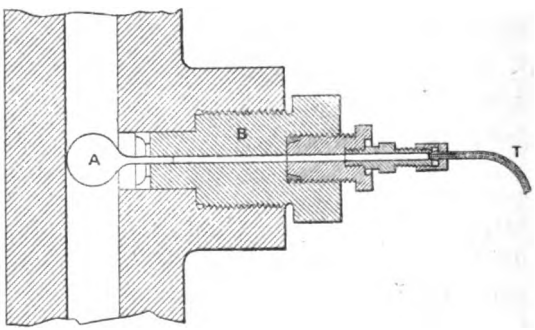
Ce dispositif est efficace, malgré la faible résistance de l'enveloppe, parce que la vitesse de combustion des explosifs est une fonction rapidement croissante de la pression; il suffit donc d'éliminer la période de long feu initial qui s'opère sous des pressions très faibles pour obtenir une onde condensée symétrique dont le front est presque vertical.

2° Les masses gazeuses à compression préalable peuvent être utilisées à la production de discontinuités symétriques.

Le gaz est comprimé dans des ampoules sphériques en verre mince d'un diamètre voisin de celui du tube au moyen du dispositif représenté *fig.* 19.

L'ampoule A est montée sur un bouchon latéral B qui permet

Fig. 19.



de la relier par un tube flexible T à une pompe de compression.

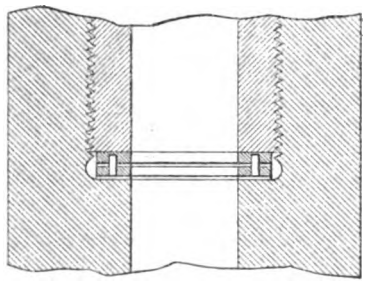
Cette disposition, donnant lieu à la propagation symétrique vers les deux extrémités du tube, permet l'enregistrement au moyen de pistons logés dans les bouchons de fermeture; mais la masse comprimée agissante est très limitée : il n'est pas possible, en effet, de compter sur une alimentation appréciable par un réservoir extérieur; le débit reste négligeable pendant la durée des phénomènes de propagation. Les ampoules expérimentées se rompaient sous des pressions de 50 à 100 atmosphères, en se pulvérisant en poussière généralement très ténue.

Excitation dissymétrique. — Une deuxième disposition est fondée sur l'emploi des diaphragmes séparant le tube en deux capacités distinctes (*fig.* 20) dans l'une desquelles on fait croître

Digitized by Google

la pression jusqu'à la rupture du diaphragme. Cette disposition donne lieu à des propagations de caractères différents de part et d'autre du diaphragme; l'évaluation des vitesses de propagation

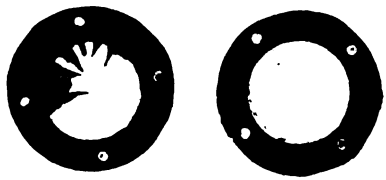
Fig. 20.



exige donc l'enregistrement latéral et c'est en vue de cette application qu'ont été établis les enregistreurs à ressorts décrits au Chapitre III.

J'ai fait usage de types de membranes extrêmement variés; les résultats les plus réguliers m'ont été donnés par des plaques de collodion de $0^{mm},27$ à $0^{mm},30$ d'épaisseur. La rupture de ces plaques, sous le diamètre de 22^{mm}, s'opère à la pression de 27 at-

Fig. 21.



Rupture incomplète. Rupture normale.

mosphères environ. Le diaphragme subit d'abord un léger emboutissage qui le transforme en une calotte sphérique; à la rupture cette calotte est divisée en un nombre considérable de fuseaux qui restent parfois en partie adhérents à la circonférence de base, comme le montrent les croquis (*fig.* 21).

Cet éclatement symétrique avec rabattement des éléments le long des parois du tube paraît très favorable à l'établissement rapide du régime de propagation par ondes planes.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

DISCONTINUITÉ SYMÉTRIQUE CRÉÉE PAR UNE AMORCE AU FULMINATE DE $0^{gr},63$.

VITESSE DE PROPAGATION D'UNE DISCONTINUITÉ DANS L'AIR A LA PRESSION NORMALE. LOI DE VARIATION DES VITESSES AVEC LA LONGUEUR DU PARCOURS.

Les expériences suivantes (¹) ont eu pour but de rechercher la vitesse de propagation d'une discontinuité et la loi d'atténuation de cette vitesse avec le parcours effectué par l'onde.

Le choix d'un type d'amorce susceptible de produire une discontinuité intense et régulière a fait l'objet d'essais comparatifs dont il sera rendu compte à la fin de ce Chapitre.

Dans tous les essais, la charge excitatrice était formée par une petite cartouche résistante en carton, préparée comme il a été dit au Chapitre IV et placée au voisinage de l'un des fonds, 3^{cm} à 5^{cm}, suivant les types de bouchons enregistreurs. La fabrication de ces petites amorces, renfermant $0^{gr},63$ de fulminate de mercure pulvérulent, a été effectuée dans des conditions aussi identiques que possible. L'enregistrement était obtenu par le déplacement de pistons placés à chaque extrémité du tube, dont le diamètre intérieur était de 22^{mm}.

PREMIÈRE SÉRIE. — TUBE RECTILIGNE.

Dans une première série, la longueur du tube a varié par l'emploi de tronçons rectilignes successifs entre les valeurs suivantes, qui représentent la différence des distances de l'amorce aux deux

(¹) M. l'ingénieur Ribaillier m'a prêté dans l'exécution de ces expériences un actif concours pour lequel je le prie de recevoir mes vifs remercîments.

Digitized by Google

fonds, savoir :

$$0^m,326 - 0^m,532 - 1^m,131 - 2^m,359 - 3^m,864.$$

La longueur de l'axe tournant parallèle au tube ne permettait pas d'écarter les cylindres inscripteurs à une distance sensiblement plus grande. Les Tableaux ci-dessous donnent, avec les vitesses observées, l'indication des organes enregistreurs : pistons légers de $10^{gr},5$ en aluminium, pistons lourds de 52^{gr} en acier libres ou soumis à l'action de ressorts antagonistes.

I. — *Contrôle de la précision des mesures.*

Les durées observées sur le parcours de $0^m,326$ ne dépassent pas $0^{ms},30$; il convenait, par suite, de rechercher de quel ordre étaient les erreurs à craindre dans la mesure de temps aussi courts.

A cet effet, j'ai utilisé une éprouvette très courte de 100^{mm} de longueur intérieure, dans laquelle la différence de distance de l'amorce aux deux fonds n'était que de $25^{mm},5$. La durée séparant le premier déplacement des pistons devait être dans ces conditions d'après la vitesse de propagation connue, supérieure à 1200^m, de $\frac{2}{100\,000}$ de seconde environ.

Huit expériences, effectuées en retournant alternativement bout pour bout l'éprouvette, ont donné les durées contenues dans le Tableau suivant :

AMORCE A DROITE.			AMORCE A GAUCHE.		
Numéros de l'essai.	Durée observée.	Nature des pistons.	Numéros de l'essai.	Durée observée.	Nature des pistons.
	ms			ms	
2206	+ 0,039	pistons 52^{gr}	2218	— 0,019	pistons 52^{gr}
2207	+ 0,034	acier.	2219	— 0,057	acier.
2208	+ 0,025	pistons $10^{gr},5$	2220	— 0,026	pistons $10^{gr},5$
2209	+ 0,035	aluminium.	2221	— 0,027	aluminium.
Moyenne.....	+ $0^{ms},032$		Moyenne.....	— $0^{ms},033$	

L'erreur systématique indiquée par le retournement de l'éprouvette paraît résulter de la méthode de tracé des repères après

Digitized by Google

chaque expérience. Les pistons sont, en effet, repoussés dans leur position initiale par des tampons à vis symétriques qui tendent à rattraper le jeu de la tête des pistons dans leur glissière de façon inverse, de telle sorte que la plume de l'un est légèrement relevée, tandis qu'elle est abaissée pour l'autre.

Quoi qu'il en soit, ces nombres montrent qu'il y a lieu de compter sur une erreur de 4 à $\frac{5}{100\,000}$ de seconde *par défaut* avec la disposition de l'amorce *à gauche*, qui a seule été employée dans les déterminations dont il va être question.

Cette correction n'a d'importance que pour les très faibles parcours, elle a été appliquée à tous les nombres avec la valeur de $\frac{5}{100\,000}$ de seconde pour le calcul des vitesses moyennes corrigées.

II. — *Tube de* 473^{mm}. — *Parcours utile de* 326^{mm}.

Huit expériences, avec enregistrement de pistons légers et de pistons lourds, ont donné les nombres contenus dans le Tableau suivant :

NUMÉROS des expériences.	NATURE des pistons.	DURÉES observées.	VITESSES.	OBSERVATIONS.
		ms		
2212	pistons légers en aluminium de $10^{gr},5$.	0,22	1486	Durée moyenne... $0^{ms},254$
2213		0,24	1337	Durée corrigée.... $0^{ms},304$
2214		0,23	1404	Vitesse correspondante..... 1073^{m}
2215		0,25	1285	
2210	pistons lourds en acier de 52^{gr}.	0,29	1111	
2211		0,26	1264	
2216		0,30	1073	
2217		0,22	1462	

Malgré l'importance de la correction, l'ordre de grandeur de la vitesse ne paraît pas douteux. Avec les pistons légers, la distance du centre de l'amorce à partir de laquelle se comptent les vitesses est de $55^{mm},4$; cette distance n'est que de $35^{mm},4$ avec les pistons en acier.

III. — *Tube de* 677^{mm}. — *Parcours utile de* 532^{mm}.

Six expériences ont donné les résultats contenus dans le Tableau suivant :

Digitized by Google

NUMÉROS des expériences.	NATURE des pistons.	DURÉES observées.	VITESSES.	OBSERVATIONS.
2123	pistons légers en aluminium de 10gr,5.	ms 0,46	1148,3	Durée moyenne... 0ms,457
2124		0,50	1065,7	Durée corrigée.... 0ms,507
2125		0,46	1154,1	Vitesse correspondante..... 1049m
2119	pistons lourds en acier de 52gr.	0,49	1079,6	
2121		0,42	1267,9	
2122		0,40	1317,2	

IV. — *Tube de* 1m,27. — *Parcours utile de* 1m,131.

Douze expériences ont été effectuées à des époques diverses, de façon à mettre en évidence l'influence d'amorces préparées en principe de façon identique, mais par séries distinctes. Dans un essai, on a substitué aux pistons libres et très mobiles les mêmes pistons graissés à la vaseline sans variation notable de la vitesse.

Dans un autre essai, l'amorce a été placée au contact de l'un des fonds, de façon à chercher l'influence des 3cm à 5cm de parcours éliminés dans les autres expériences.

NUMÉROS des expériences.	NATURE des pistons.	DURÉES observées.	VITESSES.	OBSERVATIONS.
2065	pistons légers en aluminium de 10gr,5 libres.	ms 1,26	901,0	Durée moyenne... 1ms,075
2066		1,18	955,1	Durée corrigée.... 1ms,125
2099		1,09	1036,5	Vitesse correspondante..... 1006m
2100		1,10	1029,0	
2223		0,98	1150,9	
2224		0,98	1152,6	
2068	pistons légers avec ressorts.	1,15	986,7	
2067	pistons lourds acier de 52gr libres.	1,04	1091,6	
2101		1,01	1119,5	
2102		1,03	1095,8	
2117	pistons lourds avec vaseline.	0,99	1141	
2118 (1)		1,10	1033	

(1) Amorce au contact d'un des fonds.

Digitized by Google

Le tracé n° **2068** avec ressort à barreaux (2-5-40) a permis d'enregistrer les retours successifs de l'onde réfléchie alternativement sur les fonds; les vitesses de propagation correspondantes sont $986^{m},7$ sur le parcours de $1^{m},131$, $597^{m},3$ sur le parcours de $1^{m},243$ suivant la première réflexion et $454^{m},0$ sur le deuxième parcours de $1^{m},243$ suivant la deuxième réflexion.

V. — *Tube de* $2^{m},500$. — *Parcours utile de* $2^{m},359$.

Ce tube, d'un seul tronçon, ne comprend aucun raccord. La propagation de l'onde s'y fait donc dans des conditions particulièrement favorables.

Cette série comprend dix déterminations effectuées à l'aide des pistons légers de $10^{gr},5$ libres ou soumis à l'action de ressorts et à l'aide des pistons lourds de 52^{gr}.

NUMÉROS des expériences.	NATURE des pistons.	DURÉES observées.	VITESSES.	OBSERVATIONS.
		ms		
2074	pistons légers	2,74	861,0	Durée moyenne... $2^{ms},570$
2075	en	2,72	868,5	Durée corrigée. .. $2^{ms},628$
2105	aluminium	2,67	885,1	Vitesse correspon-
2106	de $10^{gr},5$.	2,64	892,5	dante..... $900^{m},4$
2076	pistons	2,52	936,6	
2107	lourds en acier	2,37	997,2	
2108	de 52^{gr}.	2,48	951,3	
2077	pistons légers	2,59	911,4	
2109	de $10^{gr},5$	2,45	962,5	
2110	avec ressorts.	2,53	933,6	

Le tracé n° **2077** avec ressorts à barreaux (2-5-40) a donné les vitesses suivantes pour l'onde réfléchie :

	m	m	
Premier parcours.....	2,3595	911,4	
Deuxième parcours....	2,4715	528,3	après la première réflexion.
Troisième parcours....	2,4715	407,2	après la deuxième réflexion.

VI. — *Tube de* $4^{m},003$. — *Parcours utile de* $3^{m},864$.

Cette série comprend quinze déterminations effectuées à l'aide

Digitized by Google

des pistons légers et lourds. La supériorité des vitesses obtenues par l'emploi de pistons lourds a été confirmée par des essais où les pistons légers et lourds ont été associés dans une même expérience.

NUMÉROS des expériences.	NATURE des pistons.	DURÉES observées.	VITESSES.	OBSERVATIONS.
		ms		
2069	pistons légers en aluminium de 10gr,5.	5,38	718,2	Durée moyenne... 5ms,189
2070		5,40	715,6	Durée corrigée.... 5ms,239
2087 (1)		5,54	697,3	Vitesse correspondante..... 737m,5
2093		5,09	759,0	
2096		5,15	750,0	
2071	pistons lourds en acier de 52gr.	5,60	690,1	
2079		5,04	766,6	
2091		5,04	766,7	
2088 (1)		5,21	741,9	
2072	pistons légers avec ressorts.	5,11	755,6	
2097		5,11	756,0	
2090	piston léger du côté amorce et lourd du côté opposé.	5,18	745,4	
2092		5,26	734,6	
2089	piston lourd du côté amorce et léger du côté opposé.	4,80	804,8	
2098		4,92	784,9	

(1) Amorce au contact d'un des fonds.

Cette série, de même que la série précédente, accuse une supériorité sensible des vitesses obtenues à l'aide des pistons lourds par rapport aux vitesses obtenues avec les pistons légers. Cette particularité pourrait être attribuée à un reste de long feu subsistant dans l'explosion de l'amorce malgré l'enveloppe de carton rigide. Ce long feu très court ne serait pas accusé par un piston lourd dont le déplacement serait insensible, tandis qu'il influencerait le piston léger du côté de la charge. Du côté opposé, au contraire, la discontinuité ayant pris naissance actionnerait les deux types de piston de façon identique. Les quatre dernières expériences répondent à des combinaisons d'enregistrement qui

Digitized by Google

tendent à porter au maximum l'effet de cette cause d'erreur, soit dans un sens, soit dans l'autre. La moyenne doit en être sensiblement exempte.

Remarques. — L'ensemble de ces expériences conduit à quelques remarques générales :

1° *Loi de décroissement des vitesses.* — Le Tableau suivant résume les durées moyennes de parcours de l'onde dans les divers intervalles avec les vitesses de propagation correspondantes.

PARCOURS.	DURÉES DE PARCOURS.	VITESSES DANS CHAQUE INTERVALLE.
m	ms	
0,326	0,304	1073
0,532	0,507	1015
1,131	1,125	969
2,359	2,620	821
3,864	5,239	575

On voit qu'une amorce explosive infime est susceptible d'engendrer une onde se propageant dès les premiers instants avec des vitesses supérieures à 1000^{m}. Ces vitesses décroissent rapidement avec la distance, mais elles sont encore supérieures de 200^{m} à la vitesse du son après un parcours de 4^{m} environ.

2° *Forme de l'onde.* — Les tracés recueillis dans le déplacement libre des pistons donnent quelques indications sur la forme de l'onde initiale et sur les modifications qu'elle subit au cours de sa propagation. Du côté de la mise de feu, comme du côté opposé, les pressions qui attaquent les pistons sont instantanément décroissantes, mais cette décroissance est beaucoup plus rapide au voisinage immédiat de l'amorce qu'à grande distance de cette amorce. C'est dans l'éprouvette de 4^{m} que les observations présentent le plus de netteté, parce que le déplacement du piston sous l'influence de l'onde initiale n'est pas perturbé par l'onde de retour qui, avec une éprouvette de cette longueur, ne survient qu'après une durée notable supérieure à 10^{ms}.

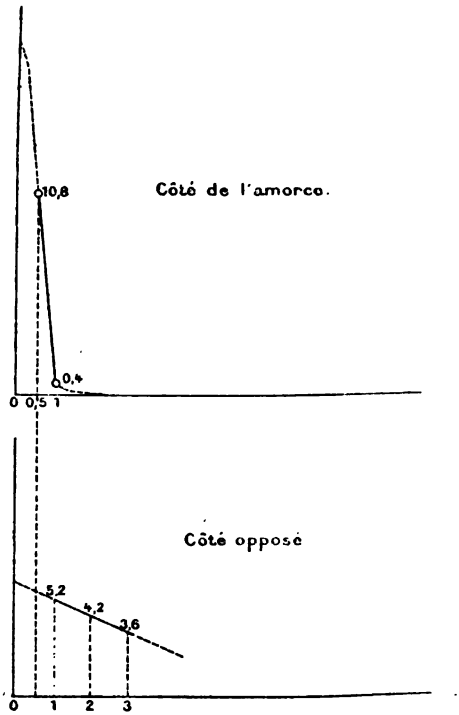
Ces tracés montrent (n^{os} 2079, 2089, 2098) que du côté de l'amorce la décroissance des pressions, à la suite de la percussion de l'explosion, est tellement rapide que le tracé est *rectiligne,* les

Digitized by Google

pressions devenant négligeables après des durées de l'ordre de $\frac{3}{10000}$ de seconde.

Du côté opposé à la charge, les tracés indiquent bien encore des pressions immédiatement décroissantes caractérisant la brusquerie de l'attaque, mais ces pressions, beaucoup plus faibles qu'au voisinage de l'amorce, sont relativement soutenues et accusent un

Fig. 22.



étalement progressif de l'onde à l'arrière de la discontinuité, comme l'indique la *fig.* 22 relative au n° 2079.

Les abscisses représentent les temps et les ordonnées, les pressions correspondant aux accélérations des pistons déduites des tracés.

Ce mode de déformation paraît la conséquence nécessaire de la vitesse variable de propagation de la discontinuité de tête, d'une part, qui se meut avec des vitesses de 700^{m} à 1000^{m} et, d'autre part, des faibles condensations de queue correspondant à la fin du phénomène de déflagration qui doivent se propager avec des vitesses voisines de la vitesse normale de propagation du son. L'onde, dans son

Digitized by Google

ensemble, subira donc une sorte d'étirement ou de dilatation *a retro* d'où résultera l'atténuation rapide de la condensation du front.

Il convient toutefois de tenir compte, dans l'allure des tracés recueillis dans cette série d'expériences, du phénomène de balancement de la masse gazeuse mise en mouvement par le passage de l'onde et dont la force vive s'éteint par compression des tranches gazeuses sur les fonds.

Les observations déduites de la loi de mouvement des pistons ne permettent pas d'évaluer la valeur des condensations mises en jeu du côté de l'amorce; les valeurs moyennes obtenues sont évidemment beaucoup trop faibles.

Il importait néanmoins de chercher à définir d'une façon précise la condensation initiale dont la vitesse de propagation et les transformations successives viennent d'être étudiées.

3° *Pressions maxima au voisinage des extrémités du tube.*— Les appareils crushers présentent, pour ce genre de mesure, des avantages spéciaux qui tiennent à l'extrême rapidité de leur fonctionnement; on peut d'ailleurs, par l'emploi de cylindres préalablement écrasés, en réitérant les essais, évaluer par approximations successives la pression, quelque rapide que soit sa loi de variation. Le Tableau suivant donne, à titre d'exemple, les déterminations relatives à l'éprouvette de $2^m,50$.

COTÉ DE LA MISE DE FEU : Cylindres de cuivre de $2^m,60$. Piston de 1^{dq}. Poids, $10^{kg},5$ en aluminium. Distance de l'amorce au fond voisin, 55^{mm}.			COTÉ OPPOSÉ : Cylindres de cuivre de $2^m,60$. Piston de 4^{dq}. Poids, 72^{kg}.		
HAUTEUR DU CYLINDRE		PRESSION correspondante.	HAUTEUR DU CYLINDRE		PRESSION correspondante.
primitive.	finale.		primitive.	finale.	
mm	mm	kg	mm	mm	kg
2,46	1,935	58	2,60	2,01	11,6
1,935	1,765	86,4	1,955	1,895	20,1
1,765	1,62	103	1,895	1,875	20,9
1,615	1,585	112,7	1,875	1,855	21,3
1,585	1,555	116,2	1,855	1,82	21,9
1,555	1,545	118,1	1,82	1,815	22,3
1,545	1,535	119,1	1,815	1,81	22,6
1,535	1,525	120,1	1,81	1,81	22,6

Digitized by Google

Après une période d'accroissement rapide les écrasements successifs se réduisent à une valeur très faible qui semble ne correspondre qu'au léger lancé du piston sous la brusque mise en tension des forces élastiques du système. Si l'on s'arrête aux essais ayant donné un écrasement supplémentaire inférieur au $\frac{1}{20}$ de millimètre on obtient les valeurs suivantes pour les pressions évaluées dans les diverses éprouvettes :

Nature de l'éprouvette.	Pressions. Côté de l'amorce.	Côté opposé.
m	kg	kg
4	95,2	8,0
2,50	103,0	20,9
1,27	108,6	37,10

La pression de 100^{kg}, sur le fond contigu à l'amorce distante de 55^{mm}, est supérieure d'un quart environ à celle que la charge de fulminate de $0^{gr},63$ produirait dans une capacité close formée d'un tube de 110^{mm} de longueur (capacité 42^{cc}).

Du côté opposé, au contraire, les pressions enregistrées sont quatre à cinq fois supérieures à la pression moyenne qui résulterait de l'égale répartition des produits de la combustion dans l'éprouvette.

DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES. — LOI DE DÉCROISSANCE DES VITESSES DANS LES TUBES DE LONGUEURS SUPÉRIEURES A 4^m.

La loi de décroissance des vitesses de propagation de la discontinuité dans les expériences qui précèdent n'a pu être suivie sur un parcours supérieur à 4^m, distance mesurant l'écart extrême qu'il était possible de donner aux cylindres tournants.

Pour étendre les vérifications à de plus grandes longueurs j'ai eu recours à des tubes du même diamètre, 22^{mm}, disposés suivant deux lignes parallèles réunies par des raccords cintrés de $1^m,50$ de diamètre permettant de ramener les extrémités d'un tube de longueur quelconque de part et d'autre d'un même cylindre tournant.

La *fig.* 23 représente, schématiquement, la disposition des expériences.

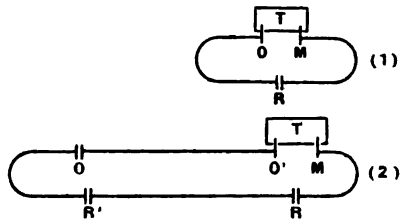
La longueur de 4^m était obtenue par l'accouplement de deux tronçons cintrés MR et RO. En M se trouvait l'amorce disposée, comme dans les expériences antérieures, à quelques centimètres

Digitized by Google

(35^{mm} et 55^{mm}) du fond muni d'un bouchon avec piston inscripteur. Le côté opposé O était de même fermé par un bouchon muni d'un piston inscripteur traçant sur le cylindre tournant T.

Les longueurs supérieures à 4^{m} s'obtenaient en intercalant en OO′ et en RR′ des longueurs de tubes égales et parallèles par tronçons de 2^{m} réunis par des raccords à vis.

Fig. 23.



Il a paru évident que la perturbation introduite par la partie courbe du tube était d'autant plus sensible que les condensations qui la parcouraient étaient plus intenses. On a donc maintenu dans tous les essais le tronçon courbe MR dans la même position relative à l'amorce et c'est le deuxième raccord OR qui s'est trouvé seul déplacé dans les transformations du système.

Le tube en acier mince, 3^{mm} d'épaisseur, utilisé dans ces essais était étiré et de fabrication courante; il ne présentait pas le poli du tube de 4^{m} formé de tronçons forés et alésés avec soin. Son diamètre de 21^{mm} à 22^{mm} était voisin de celui du premier tube, mais un peu inférieur. Les vitesses de propagation observées sur un tronçon rectiligne de 4^{m},283 avec l'amorce de 0^{gr},63 de fulminate ont été de 656^{m}, au lieu de 747^{m},9, obtenues avec le tube poli de 3^{m},864. L'influence des surfaces paraît donc importante au moins pour ces petits diamètres.

Les expériences ont porté sur les points suivants :

1° Détermination de la vitesse sur un parcours rectiligne de 4^{m},283.

2° Même détermination sur un tube de même espèce cintré suivant la disposition (1) ci-dessus.

3° Détermination des vitesses sur les parcours de 8^{m},39, 12^{m},38, 16^{m},38, 32^{m},35.

Digitized by Google

NUMÉRO de l'expérience.	NATURE des pistons.	DURÉES.		VITESSES.	MOYENNE.
		ms			
1° *Tube rectiligne. Longueur de parcours* 4^m, 283.					
2196	Pistons légers. Aluminium 10^{gr},5.	6,62		647,3	Durée moyenne 6^{ms},533. Vitesse correspondante 655^m,6.
2197		6,74		635,3	
2193	Pistons lourds. Acier 52^{gr}.	6,50		659,2	
2194		6,26		683,9	
2195		6,55		654,4	
2° *Tube cintré. Disposition* (1). *Longueur de parcours* 4^m,390.					
2175	Pistons légers. Aluminium 10^{gr},5.	7,07	7,28	621,0	Durée moyenne 7^{ms},158 Vitesse correspondante 613^m,30.
2176		7,37		595,9	
2187		7,40		606,7	
2177	Pistons lourds. Acier 52^{gr}.	6,93	6,98	633,5	
2178		7,02		625,3	

L'influence totale des deux coudes se traduit donc par une différence de 40^m sur les vitesses, soit une variation de 6 pour 100 sur la vitesse fournie par le tube rectiligne, ou un retard de 0^{ms},36. De ce retard la plus forte partie appartient certainement au tronçon MR voisin de l'amorce; l'influence du tronçon OR parcouru par une condensation affaiblie peut être évaluée à 0^{ms},10 au maximum, et les *modifications* de ce retard attribuables à un simple déplacement du segment OR dans les allongements apportés au tube par additions de tronçons égaux et parallèles sont à coup sûr bien inférieures à cette valeur de 0^{ms},10. Cette erreur ne saurait donc influencer d'une façon appréciable les vitesses observées sur des parcours de 12^m et 16^m correspondant à des durées de trente à quarante millisecondes.

Le Tableau suivant donne les déterminations de vitesse faites sur des longueurs du tube supérieures à 4^m.

Digitized by Google

LONGUEUR de parcours.	NUMÉROS des expériences.	NATURE DES PISTONS.	DURÉES.		VITESSES.	
			ms			
m 8,39	2183	pistons légers aluminium $10^{gr},5$	16,14	ms 16,575	519,8	506,2
	2184		16,17		518,8	
	2188		17,47		480,2	
	2189		16,52		507,8	
12,38	2181	pistons aluminium $10^{gr},5$	27,39	28,101	452,0	440,5
	2182		27,89		443,9	
	2185		29,45		420,4	
	2186		27,68		447,3	
16,38	2179	pistons aluminium $10^{gr},5$	37,90	37,978	432,2	431,3
	2180		37,66		435,0	
	2190		38,38		426,8	
	2191	pistons lourds acier 52^{gr}	38,24	38,356	428,3	427,0
	2192		38,47		425,8	
32,35	2198	pistons légers aluminium	83,44	82,525	387,7	392,0
	2199		81,61		396,4	
	2200	pistons lourds acier 52^{gr}	83,92	82,959	385,5	390,0
	2201		82,00		394,5	

Le Tableau suivant rapproche les vitesses observées dans les intervalles 0^m-4^m, 4^m-16^m, 16^m-32^m :

LONGUEURS DE PARCOURS.	DURÉES.	VITESSES dans les intervalles.	
	ms		
0^m — $4^m,39$	7,28	603,0	pistons légers
	6,98	629,4	pistons lourds
$4^m,39$ — $16^m,38$	30,698	390,6	pistons légers
	31,376	382,2	pistons lourds
$16^m,38$ — $32^m,45$	44,547	358,5	pistons légers
	44,603	358,1	pistons lourds

Des vitesses de propagation bien supérieures à la vitesse du son subsistent donc à des distances de l'amorce supérieure à 16^m, c'est-à-dire en des points tout à fait en dehors de l'action directe de l'explosif. La durée de parcours de 40^{ms} dépasse de beaucoup la persistance des hautes pressions dues à l'explosion du fulmi-

Digitized by Google

nate en raison de l'action énergique des phénomènes de refroidissement.

Les tracés de pistons libres recueillis à l'extrémité opposée à l'amorce du tube de 32^{m} confirment les observations relatives à la déformation de l'onde après de moindres parcours.

L'attaque du piston reste brusque et n'accuse aucune phase de pressions croissantes, mais le décroissement des pressions à l'arrière du front de l'onde précédemment observé s'atténue au point que tout le parcours du piston s'effectue sous des pressions pratiquement constantes.

Je donnerai, à titre d'exemple, les lectures brutes du tracé n° **2198** faites à des intervalles égaux de 4^{mm} en abscisses correspondant à une durée de 1^{ms} environ $\left(\frac{4}{7,91}\,0^{s},001995\right)$.

Piston léger de $10^{gr},5$.

INTERVALLES.	DÉPLACEMENTS.	DIFFÉRENCES		PRESSION.
		premières.	secondes.	
	mm			
1^{ms} environ	0,12			constante
		0,30		
	0,42		0,19	
		0,49		
	0,91		0,19	$0^{kg},200$
		0,68		
	1,59		0,19	
		0,87		
	2,46		0,18	
		1,05		
	3,51		0,19	
		1,24		
	4,75			

Le tracé recueilli pendant 6^{ms} accuse une pression constante. Dans cet intervalle, le front de l'onde parcourt une distance supérieure à 2^{m} d'après la vitesse de 358^{m} obtenue pour les derniers mètres de parcours.

Le tracé n° **2201** avec piston lourd de 52^{gr} accuse également la constance de la pression pendant une durée de 26^{ms} correspondant à un trajet de l'onde de 9^{m}.

Dans quelle mesure le mouvement général de la masse gazeuse

Digitized by Google

déterminé par le passage de l'onde contribue-t-il à soutenir la pression au voisinage de la paroi fixe? C'est ce que les expériences actuelles ne permettent pas d'établir. Dans le cas des très longs parcours la discontinuité d'origine se trouverait réduite à de très faibles valeurs, et la vitesse de propagation à la vitesse du son; on peut se demander si le phénomène de balancement de la masse gazeuze totale avec compression alternative sur les fonds ne deviendrait pas le seul phénomène visible comme sembleraient l'indiquer les expériences de MM. Violle et Vauthier.

Résumé. — On peut chercher à résumer en quelques mots les notions fournies par l'étude du mode d'excitation très particulier que nous venons de développer.

1° L'amorce à enveloppe résistante de $0^{gr},63$ de fulminate de mercure, placée à 5^{cm} de l'un des fonds d'un tube de 22^{mm} de diamètre, permet d'obtenir une onde condensée d'une brusquerie extrême caractérisée par la pression de 100^{kg} environ exercée sur le fond voisin.

Cette pression est d'ailleurs assimilable à une percussion et tombe à zéro dans un temps de l'ordre de $\frac{3}{10000}$ de seconde.

2° L'onde ainsi formée présente tous les caractères de la discontinuité; elle se propage dès les premiers instants avec des vitesses supérieures à 1000^{m}. La vitesse de propagation s'atténue rapidement et tombe à 500^{m} après un parcours de 4^{m} environ. Mais cette vitesse conserve des valeurs nettement supérieures à la vitesse normale du son après des parcours de l'ordre de 32^{m}. Les réflexions successives entraînent des réductions de vitesse plus considérables que celles qui résultent de la propagation rectiligne comme l'indique le Tableau suivant :

VITESSES DANS LES PARCOURS SUCCESSIFS AVEC RÉFLEXIONS INTERMÉDIAIRES						VITESSES DANS LES PARCOURS rectilignes successifs.	
Tracé n° 2068.	Parcours.	Vitesse.	Tracé n° 2077.	Parcours.	Vitesse.	Parcours.	Vitesse.
	m			m		m	
Direct.....	1,13	986,7	Direct.....	2,359	911,4	1,13	1096
Après 1re réflexion	1,243	597,3	Après 1re réflexion	2,471	528,3	1,40	875,1
Après 2e réflexion	1,243	454,0	Après 2e réflexion	2,471	407,2	1,32	552

Digitized by Google

3° Les grandes vitesses de propagation sont corrélatives de vitesses propres considérables communiquées aux tranches gazeuses et les forces vives correspondantes s'amortissent au voisinage des parois fixes dans un travail de compression qui élève la pression au contact de ces parois à des valeurs quatre à cinq fois supérieures à la pression moyenne qui résulterait de l'égale répartition de la masse gazeuse dans l'éprouvette.

Les tracés recueillis au contact des parois fixes accusent la persistance de la discontinuité après les plus longs parcours observés (32^m). L'attaque reste brusque, mais l'onde paraît s'étirer à l'arrière du front et la loi de décroissance des pressions y devient de moins en moins rapide.

CHAPITRE VI.

DISCONTINUITÉ SYMÉTRIQUE PAR L'AMORCE AU FULMINATE DE $0^{gr},63$.

INFLUENCE DE LA RÉSISTANCE DE L'ENVELOPPE ET DE LA MASSE DE L'EXPLOSIF SUR LA VITESSE DE PROPAGATION DANS L'AIR.

Le choix d'un type d'amorce susceptible de produire une discontinuité intense et régulière a fait l'objet d'essais comparatifs qui mettent en évidence l'influence de la masse de l'explosif et de la résistance de l'enveloppe sur la vitesse de propagation.

1° *Influence de la résistance de l'enveloppe.* — Lorsqu'on passe d'une enveloppe de résistance négligeable en papier à cigarettes à une enveloppe rigide fermée par des tampons de bois sertis, la vitesse s'accroît à toute charge.

Digitized by Google

NATURE de l'éprouvette.	NATURE de l'enveloppe.	VITESSE de propagation.	NUMÉRO de l'expérience.
Amorce $0^{gr},04$ fulminate.	Enveloppe papier mince.	396,4 } pistons $10^{gr},5$	2161
Éprouvette de $1^{m},27$.	Id. carton rigide.	509,7 } aluminium.	2160
Amorce $0^{gr},63$ fulminate.	Enveloppe papier mince.	591,0 } pistons lourds	2052
Éprouvette de 4^{m}.	Id. carton rigide.	737,5 } 52^{gr}.	Moy. sér. VI.

La suppression du long feu initial et l'accroissement de la condensation résultant de l'emploi d'une enveloppe rigide augmentent de 100^{m} à 150^{m} les vitesses mesurées.

Cette vitesse ne paraît pas toutefois susceptible d'être accrue par l'accroissement de la résistance de l'enveloppe, tout au moins lorsque la masse de l'enveloppe augmente simultanément. On a comparé des amorces formées de petits godets en verre de $0^{mm},7$ d'épaisseur et de $9^{mm},5$ de diamètre, fermés par un bouchon de liège, et des amorces en laiton pour dynamites dont la charge de $0^{gr},6$ avait été complétée à $0^{gr},63$.

NATURE de l'éprouvette.	NATURE de l'enveloppe.	VITESSE observée.	NUMÉRO de l'expérience.
Amorce $0^{gr},63$ fulminate.	Enveloppe de carton.	1144^{m}	2117
Éprouvette $1^{m},27$.	Godet de verre.	931,3	2120
Amorce $0^{gr},63$ fulminate.	Enveloppe de carton.	805,1	2095
Éprouvette 4^{m}.	Amorce laiton.	634,3	2094

L'emploi d'enveloppes de résistance et de dureté supérieures à celles d'un carton paraît donc sans avantage au point de vue des vitesses et présente d'autre part des inconvénients au point de vue de la conservation des appareils en raison des incrustations produites dans le tube par la projection des parois de l'amorce.

2° *Influence de la masse de la charge explosive.* — Les expériences relatées au Chapitre II ont mis en évidence l'influence des charges croissantes sur les vitesses de propagation dans des con-

Digitized by Google

ditions où le long feu initial de l'amorce n'était pas atténué ou supprimé par la résistance de l'enveloppe. Le même accroissement considérable des vitesses de propagation s'observe par l'emploi d'amorces à enveloppe rigide en carton.

Éprouvette de $1^{m},27$. *Cartouches résistantes en carton. Pistons lourds* 52^{gr}.

CHARGE.	VITESSES DE PROPAGATION.	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.
$0^{gr},04$	507,0	2222
	541,5	2225
$0^{gr},63$	1150,9	2223
	1152,6	2224

La charge variant de 1 à 16, les vitesses sont plus que doublées. La disposition des amorces entraînant la suppression presque absolue des longs feux, l'accroissement des vitesses ne peut être attribué qu'à l'augmentation de la pression initiale d'une part, et en même temps sans doute à une loi d'affaiblissement plus lente de la discontinuité de tête.

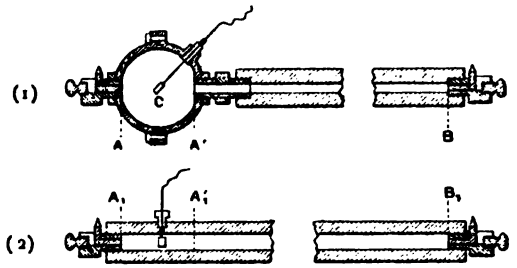
Pour séparer ces influences, j'ai cherché à comparer les vitesses de propagation produites par la déflagration de charges très différentes, mais placées dans des chambres dont le volume était proportionnel à ces charges. Dans ces conditions, les condensations initiales prises à la limite de la chambre sont assurément très voisines et seules les lois d'affaiblissement de ces condensations dans leur parcours en tube cylindrique doivent différer en raison d'une alimentation variable à l'arrière du front de l'onde.

Les expériences ont été réalisées à l'aide du dispositif représenté par la *fig.* 24. Une bombe sphérique en bronze de 1470^{cc} de capacité est vissée à l'extrémité d'un des tubes de 22^{mm} de diamètre employés dans les expériences précédentes. La charge C placée au centre de la sphère attaque successivement le piston A et le piston B qui tracent sur des cylindres tournants montés sur le même axe. L'intervalle qui sépare les premiers déplacements mesure la durée de parcours de la condensation de A′ en B dans le tube de 22^{mm} (*fig.* 24), de même que dans les essais antérieurs

Digitized by Google

effectués suivant la disposition (2) l'intervalle des signaux de A_1 et B_1 mesurait la durée de parcours de la condensation sur le trajet $A'_1 B_1$. Les volumes AA' et $A_1 A'_1$ sont dans le rapport de 52 à 1. Une charge de $2^{gr},07$ de fulminate dans la bombe sphérique

Fig. 24.



produira en A' une condensation sensiblement égale à celle que la charge de $0^{gr},04$ produit en A'_1. Le Tableau suivant renferme les résultats observés.

DISPOSITION (1). Bombe sphérique. — Charge $2^{gr},07$. — Fulminate. Cartouche rigide en carton. Parcours $1^m,301$. — Pistons lourds 52^{gr}.		DISPOSITION (2). Tube cylindrique. — Charge $0^{gr},04$. — Fulminate. Cartouche rigide en carton. Parcours $1^m,131$. — Pistons lourds 52^{gr}.	
Vitesse de propagation.	N^os des expériences.	Vitesse de propagation.	N^os des expériences.
819,1	2226	507,0	2222
821,1	2227	541,5	2225
826,7	2228		

La charge de $8^{gr},29$ de fulminate dans la bombe sphérique qui n'est que le $\frac{1}{4}$ de celle qui correspondrait à la charge de $0^{gr},63$ dans l'éprouvette cylindrique a donné, dans les tubes de $1^m,27$ et de 4^m, les vitesses suivantes :

Digitized by Google

DISPOSITION I. — BOMBE SPHÉRIQUE. — CHARGE 8gr,29.

Parcours de 1m,301. — Pistons lourds 52g.		Parcours de 4m,037. — Pistons lourds 52g.	
Vitesse de propagation.	N°s des expériences.	Vitesse de propagation.	N°s des expériences.
959,1	2229	714,5	2237
982,1	2231	704,6	2236
969,7	2232	722,6	2235
962,6	2233	754,4	2234

Ces expériences montrent que la vitesse de propagation dépend non seulement de l'intensité des condensations initiales mais de la loi suivant laquelle elles sont soutenues. A une charge *équivalente* à la charge de 0gr,04 en tube cylindrique, la bombe sphérique donne des vitesses de propagation accrues de 60 pour 100; à une charge correspondant au $\frac{1}{4}$ de la charge 0gr,63 en tube cylindrique la bombe sphérique donne des vitesses de même ordre que cette dernière charge pour les parcours de 1m,301 et de 4m,037, soit respectivement 1049m et 737m,5 (séries IV et VI).

CHAPITRE VII.

DISCONTINUITÉ SYMÉTRIQUE CRÉÉE PAR L'AMORCE AU FULMINATE DE 0gr,63.

INFLUENCE DE LA DENSITÉ ET DE LA PRESSION DU MILIEU SUR LA VITESSE DE PROPAGATION.

Nous avons étudié jusqu'ici la propagation, dans un même milieu constitué par l'air sous la pression atmosphérique, de condensations d'intensité variable produites par les explosifs sous diverses charges. Les expériences qui font l'objet du présent Cha-

Digitized by Google

pitre concernent au contraire l'influence que des modifications dans le milieu en repos exercent sur la vitesse de propagation d'une onde condensée produite, dans tous les cas, par le même mode d'excitation, l'amorce au fulminate de $0^{gr},63$.

Le milieu peut être modifié de plusieurs manières en agissant soit sur la nature du gaz, soit sur sa pression. Dans le cas de condensations infiniment petites et pour des gaz auxquels les lois de Mariotte et de Gay-Lussac sont applicables, la vitesse de propagation n'est influencée que par la nature du gaz et inversement proportionnelle à la racine carrée de la densité; la pression est sans influence comme l'indique l'expression (Chap. I) :

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{mp_0}{\rho_0}},$$

parce que la pression du milieu varie proportionnellement à la densité à une même température et que leur rapport reste constant.

Nous allons voir qu'il en est tout autrement dans le cas de la propagation par discontinuités intenses.

Les essais ont porté sur l'air, l'acide carbonique et l'hydrogène. Les pressions ont varié depuis des valeurs très faibles de l'ordre de quelques centimètres de mercure jusqu'à des valeurs de 20 à 40 atmosphères.

DISPOSITIONS SPÉCIALES DES EXPÉRIENCES.

Ces expériences ont présenté de sérieuses difficultés parce qu'il n'est point facile d'obtenir à la fois la sensibilité des organes enregistreurs et leur étanchéité sous des pressions très faibles et très élevées. Les dispositions utilisées pour ces premiers essais pourront être perfectionnées : elles nous paraissent toutefois susceptibles de mettre en lumière sans doute possible l'allure générale des phénomènes.

Tous les essais ont été effectués avec l'éprouvette de $1^{m},27$ ($1^{m},131$ de parcours utile) et suivant le mode d'enregistrement précédemment décrit par pistons placés aux extrémités du tube.

Sous les pressions initiales élevées les pistons enregistreurs ne pouvaient être maintenus libres. On a fait usage pour les contre-

Digitized by Google

buter de petits cylindres de cuivre de $1^{mm},6$ de diamètre et de $2^{mm},60$ de hauteur qui fournissent un écrasement de $\frac{1}{100}$ de millimètre par kilogramme sous des pressions supérieures à 10^{kg} environ, ou de cylindres de dimensions moitié moindre et de sensibilité double.

Les signaux recueillis par écrasement subit au moment de l'arrivée de l'onde ont été généralement très nets. Nous avons vu en effet que la pression s'élève à 37^{kg} à l'extrémité de l'éprouvette de $1^{m},27$ opposée à l'amorce dans le cas où le milieu est à la pression atmosphérique et cette pression s'accroît encore dans les milieux condensés.

L'étanchéité des pistons était obtenue par la vaseline ou le suif pour les pressions élevées.

On s'est assuré par des expériences comparatives sous la pression atmosphérique que les vitesses n'étaient pas influencées par ce mode d'enrobage des pistons et de contrebutée.

Amorce de $0^{gr},63$. *Air sous la pression atmosphérique.*

MODE D'ENREGISTREMENT.	VITESSES.	NUMÉROS des expériences.
Pistons légers aluminium, libres sans graisse.	1036^{m}	2099
	1029	2100
Pistons légers aluminium, enrobés de vaseline, contrebutés par cylindres de $2^{mm},60$ (côté mise de feu) et $1^{mm},30$ côté opposé.	1031	2130
Pistons légers aluminium, enrobés de suif, contrebutés par cylindres de $2^{mm},60$	1016	2127
	1095	2128

Le gaz était puisé dans un gazomètre et comprimé dans l'éprouvette au moyen d'une pompe Golaz. La purge du tube était obtenue au moyen d'un vide préalable et de deux ou trois charges sous pressions élevées suivies de retour à la pression atmosphérique par évacuation du gaz au moyen d'un robinet à pointeau.

Les essais sous pression réduite ne paraissent à l'abri de toute critique que pour l'air, les rentrées de gaz par les joints au cours des opérations n'altérant pas dans ce cas la composition du milieu.

Digitized by Google

Air atmosphérique. Amorce $0^{gr},63$.

PRESSION du milieu en repos.	VITESSE.	NUMÉRO de l'expérience.	MODE D'ENREGISTREMENT.
$22^{kg},5$ absolus.....	$576,0^{m}$	2139	Pistons aluminium avec suif.
14.....	610,9	2126	» »
13.....	605,5	2129	» » vaseline.
Pression atmosphérique.	1036,5	2099	Pistons aluminium libres.
	1029,0	2100	» »
	1031,4	2130	» » vaseline.
	1015,7	2127	» » suif.
	1095	2128	» » suif.
Pression réduite à $\frac{1}{10}$ d'atmosphère.....	1237	2131	Pistons alum. libres avec vaseline.
	1272	2134	» »
Pression réduite à $\frac{1}{100}$ d'atmosphère.....	1577	2136	Pistons alum. libres avec vaseline.

Les vitesses de propagation varient du simple au double lorsque la pression du milieu en repos passe de valeurs faibles de l'ordre de $\frac{1}{10}$ d'atmosphère à des pressions de 22^{kg}.

Acide carbonique. Amorce $0^{gr},63$.

PRESSION du milieu en repos.	VITESSE.	NUMERO de l'expérience.	MODE D'ENREGISTREMENT.
44^{kg}, température de l'expérience 17°.....	$273,1^{m}$	2157	Pistons alum. avec graisse. Cylindres de $2^{mm},60$.
24^{kg}.....	365,6	2154	»
	361,3	2155	»
Pression atmosphérique.	681,1	2152	Pistons alum. sans graisse, libres.
	767,5	2153	» »
	861,5	2156	Pistons alum. sur cylindres $2^{mm},60$ sans jeu.
	813,5	2158	Pistons lourds; acier 52^{gr}; libres sans graisse.

La vitesse de propagation observée sous la pression atmosphérique se réduit de plus de moitié sous la pression de 24^{kg}.

Digitized by Google

Hydrogène. Amorce $0^{gr},63$.

PRESSION du milieu en repos.	VITESSE.	NUMÉRO de l'expérience.	MODE D'ENREGISTREMENT.
2^{kg}.....	1427 m	2142	Pistons alum. avec suif sur ressorts 2/5/40.
	1683	2141	Pistons alum. avec suif sur cylindres de $1^{mm},30$.
$12^{atm},5$.....	1630	2138	Pistons alum. vaseline, cylindres $2^{mm},60$ et $1^{mm},30$.
$9^{kg},0$.....	1764	2135	»
Pression atmosphérique.	2262,7	2132	Pistons aluminium libres.
	1997,4	2133	»
	2052,0	2137	Pistons aluminium vaseline, libres.
Pression réduite à $\frac{1}{100}$ d'atmosphère.....	1965	2149	Pistons aluminium vaseline.
	1680	2150	»

L'abaissement de la vitesse avec l'accroissement de pression est encore manifeste dans cette série relative à l'hydrogène bien que moins accentué que pour les gaz précédents. L'abaissement des vitesses présenté par les expériences sous faible pression peut être attribué soit à de faibles rentrées d'air pendant l'épuisement altérant la composition du gaz, soit à l'influence de la vapeur d'eau dégagée sous faible pression par les parois de récipients qui n'avaient pas été spécialement desséchés.

Deux conclusions principales se dégagent de la comparaison de ces trois séries d'expériences :

1° Sous une même pression la loi des densités relative aux vitesses de propagation du son n'est qu'approximativement conservée et cette influence paraît atténuée. Néanmoins les variations de vitesse considérables introduites par le milieu suffiraient à confirmer que le phénomène étudié est bien un phénomène de propagation et non pas seulement un phénomène d'écoulement de la masse gazeuse explosive dans lequel le rôle du milieu serait secondaire.

2° En deuxième lieu l'influence de la pression nulle dans le cas

Digitized by Google

de la propagation du son est très importante dans la propagation par discontinuité. L'accroissement de la pression abaisse la vitesse de propagation qui se trouve ramenée de valeurs deux à trois fois supérieures à la vitesse du son sous la pression atmosphérique, à des valeurs voisines de cette vitesse sous la pression de 22^{kg} à 24^{kg} comme l'indique le Tableau suivant :

		HYDROGÈNE.	AIR.	ACIDE carbonique.
Densités		1	14	22
Vitesses du son		1319	340	281
Vitesses de propagation de la discontinuité.	pression atm.	2104	1041	814
	pression 22-24^{kg}	1555	576	363

L'expression de la vitesse de propagation d'une discontinuité permet de se rendre compte de l'influence variable de la densité et de la pression.

On a obtenu pour la vitesse de propagation du son l'expression $V=\sqrt{\frac{mp}{\rho}}$, où p et ρ désignent la pression et la densité du milieu non perturbé, et comme à une même température p et ρ sont proportionnels, d'après la loi de Mariotte, la vitesse de propagation du son est indépendante de la pression initiale du milieu.

L'expression de la vitesse de propagation d'une discontinuité établie au Chapitre I est $V=\sqrt{-\frac{1}{\rho}\frac{P_1-P}{z_1-z}}$, avec l'expression adiabatique dynamique $P_1=P\frac{2(1+z)-(m-1)(z_1-z)}{2(1+z)+(m+1)(z_1-z)}$.

Si l'on suppose le milieu en repos, c'est-à-dire $z=0$, on a

$$\frac{P_1-P}{z_1}=-P\frac{2m}{2+(m+1)z_1}$$

et

$$V=\sqrt{\frac{P}{\rho}\frac{2m}{2+(m+1)z_1}}.$$

Influence de la pression. — Le facteur $\frac{P}{\rho}$ est encore indépendant de la pression initiale pour un même gaz, mais le coefficient

Digitized by Google

$\frac{2m}{2-(m-1)z_1}$, au lieu de se réduire à une constante, comme dans le cas des condensations infiniment petites, varie avec une extrême rapidité avec z_1. Ce coefficient devient infini pour des valeurs négatives de z_1 correspondant à des condensations réduisant au $\frac{1}{6}$ le volume primitif d'une tranche.

Les propriétés du milieu en repos ne suffisent donc plus pour définir la vitesse de propagation, et le degré de discontinuité mesuré par la valeur de z_1 intervient dès que la continuité cesse d'être réalisée. Or il paraît évident qu'un même mode d'excitation, résultant de la déflagration d'une même amorce, déterminera des condensations d'autant plus faibles que la condensation préalable du milieu sera plus grande; z_1 diminuera donc avec la pression et il en sera de même de la vitesse de propagation.

Influence de la densité. — L'influence atténuée de la densité s'explique par le jeu du même facteur. Les tracés recueillis dans les expériences faites sur l'hydrogène montrent, en effet, que les pressions d'attaque des pistons sont croissantes, ce qui semble indiquer que la discontinuité qui assure cependant des vitesses de propagation de 2000^m n'est pas celle qui correspondrait à l'arrivée de la condensation maximum au front de l'onde.

Le rapport des vitesses de propagation est donc le rapport inverse des racines carrées des densités multiplié par un facteur plus petit que 1 :

$$\frac{V_H}{V_{air}} = \sqrt{\frac{\rho_{air}}{\rho_H}\,\frac{2+(m+1)z_{air}}{2+(m+1)z_H}}, \qquad z_H \text{ négatif} < \text{en valeur absolue que } z_{air}.$$

Vérifications. — Cette atténuation de la condensation de discontinuité pour des densités du milieu décroissantes n'est pas spéciale au mode d'excitation par l'amorce explosive au fulminate de 0^{gr},63 qui a été utilisé dans tous les essais dont il vient d'être parlé. Les résultats suivants obtenus au moyen de l'excitation par rupture d'ampoules en verre sous l'influence de gaz comprimés, de même nature que celle du milieu, conduisent à la même conclusion.

Les conditions des expériences ont été décrites au Chapitre IV.

Digitized by Google

Pistons aluminium. — Ampoules de verre sphériques. — Rupture sous la pression de 50^{kg} environ. — Eprouvette de 1^{m},27. — Gaz à la pression atmosphérique.

AIR ATMOSPHÉRIQUE.		ACIDE CARBONIQUE.		OXYGÈNE INDUSTRIEL.		HYDROGÈNE.	
Numéros des expériences.	Vitesses de propagation.	Numéros des expériences.	Vitesses de propagation.	Numéros des expériences.	Vitesses de propagation	Numéros des expériences.	Vitesses de propagation.
2148	452,7	2162	399,1	2167	431,7	2172	1342
2104	425,3	2165	405,7			2173	1357
2111	482,3						
2112	446,0						
2115	422,9						

Tandis que pour l'hydrogène la vitesse de propagation due à ce mode spécial d'excitation surpasse à peine la vitesse de propagation théorique du son, pour les gaz lourds cette vitesse dépasse de plus de 100^{m}, soit de plus de 30 pour 100, la vitesse normale. C'est donc le même fonctionnement que par l'amorce de fulminate.

CHAPITRE VIII.

DISCONTINUITÉS DISSYMÉTRIQUES OBTENUES PAR LA RUPTURE DE DIAPHRAGMES.

J'ai rapproché, au Chapitre précédent, des expériences fondées sur l'emploi de cartouches explosives, quelques essais dans lesquels l'excitation était produite par l'éclatement d'ampoules sphériques en verre sous l'influence de gaz comprimés de la même nature que celle du milieu qui propage.

Cette disposition donne lieu à une onde symétrique qui permet l'enregistrement aux extrémités du tube; mais elle présente l'inconvénient de ne mettre en jeu que des masses gazeuses très faibles et, par suite, des condensations dont le coefficient d'affai-

Digitized by Google

blissement est énorme. Aussi les vitesses de propagation observées, bien que très supérieures à la vitesse du son, restent-elles relativement faibles. Mais, si l'on partage le tube en deux parties par un diaphragme dont on provoque la rupture par compression lente du gaz dans l'un des segments, on peut établir un rapport quelconque entre les masses qui réagissent l'une sur l'autre. Mais, en même temps, le phénomène cesse d'être symétrique et son étude exige l'enregistrement latéral. Ce mode d'enregistrement présente d'ailleurs l'avantage de permettre d'isoler le phénomène dû au passage de l'onde comprimée des compressions qui se produisent au voisinage des fonds par le balancement de la masse gazeuse mise en vitesse par le passage de l'onde. On a décrit, au Chapitre II, les enregistreurs à ressorts de force antagoniste variable utilisés dans ces essais.

Il convient d'établir tout d'abord, en l'appliquant à des modes d'excitation déjà éprouvés, que ce procédé fournit des vitesses de propagation identiques à celles qui ont été obtenues par la méthode des pistons placés aux extrémités.

EXPÉRIENCES PRÉLIMINAIRES DE CONTRÔLE DE L'INSCRIPTION LATÉRALE.

Les expériences suivantes ont été effectuées en tube rectiligne de 22^{mm} de diamètre en employant comme mode d'excitation l'amorce au fulminate à enveloppe résistante de carton de $0^{gr},63$. Le premier enregistreur était placé à 115^{mm} de l'amorce, le deuxième à des distances du premier de $1^{m},026$ et $2^{m},531$. Le tube se prolongeait au delà du deuxième enregistreur sur des longueurs supérieures à 1^{m}. Le Tableau suivant renferme les vitesses observées et les rapproche des vitesses obtenues sur des parcours similaires dans le mode d'enregistrement par pistons placés aux extrémités.

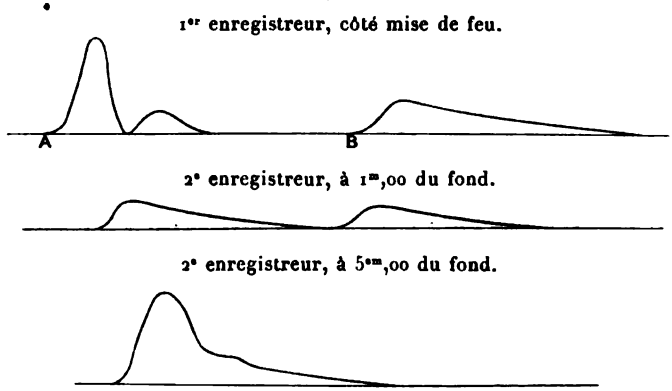
Digitized by Google

ENREGISTREMENT LATÉRAL.			ENREGISTREMENT aux extrémités du tube.	
LONGUEURS de parcours.	NUMÉROS des expériences.	VITESSES.	PARCOURS.	VITESSES.
m	2256	1064	m	
1,026	2257	1152	1,131	1052
	2258	1170		
1,736	2261	949,9		
	2262	938,6	2,359	920
2,531	2259	871,2		
	2260	896,5		

Si l'on tient compte des légères différences de parcours dans les deux séries, ces nombres peuvent être regardés comme concordants : ils montrent que les deux procédés d'enregistrement sont équivalents et que les phénomènes de réflexion aux extrémités n'interviennent pas d'une façon sensible dans l'évaluation des vitesses.

Deux expériences comparatives, n^os 2263 et 2264, par inscription

Fig. 25.



latérale ont d'ailleurs été faites à l'aide d'enregistreurs distants de 2m,531. Dans l'une, le tube se prolongeait de 5cm seulement au delà du deuxième enregistreur; dans l'autre expérience, le tube se prolongeait sur une longueur de 1m. Les vitesses observées

Digitized by Google

$793^{m},6$ et $800^{m},0$ sont les mêmes, mais les tracés fournis par le deuxième enregistreur présentent des aspects très différents dans les deux essais (*fig.* 25).

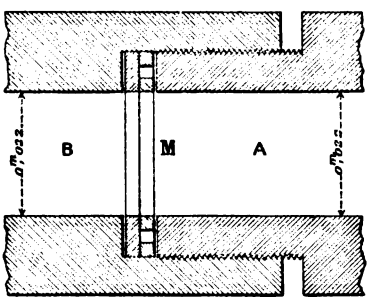
Le premier enregistreur du côté de l'amorce accuse en A une pression très brusque suivie presque immédiatement d'une pression nulle ou négative.

Le deuxième enregistreur, placé à 1^{m} du fond, montre l'atténuation de l'onde et son étalement à l'arrière. L'onde de retour présente les mêmes caractères. Lorsque le fond du tube est rapproché du deuxième enregistreur à 5^{cm}, l'onde incidente se superpose avec l'onde de retour en donnant lieu à un accroissement considérable des pressions.

CONDITIONS D'UTILISATION DES DIAPHRAGMES.

L'emploi des diaphragmes pour séparer un tube en deux régions soumises à des pressions différentes ne présente en principe aucune difficulté. La membrane M (*fig.* 26) est pincée entre deux ron-

Fig. 26.



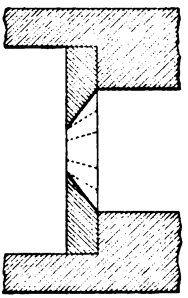
delles d'acier présentant un évidement circulaire au diamètre du tube. Ce couple de rondelles est intercalé entre deux tronçons du tube dans le raccordement fileté qui sert à les réunir. Des bagues minces de cuivre assurent l'étanchéité de part et d'autre du diaphragme. Mais la régularité des pressions de rupture et du mode de rupture n'a été obtenue qu'à la suite de nombreux essais portant sur des types de matières variées.

Essais de diaphragmes en verre. — J'ai expérimenté tout d'abord le verre sous forme de lames planes ou légèrement con-

Digitized by Google

caves, recuites ou trempées; la lame était mastiquée dans une rondelle d'acier présentant une feuillure servant d'appui au bord de la plaque de verre. Les pressions de rupture, sous le diamètre libre de 22^{mm}, ont été en moyenne de 35^{kg} pour l'épaisseur de $1^{mm},5$; de 15^{kg} pour l'épaisseur de 1^{mm}, et 5^{kg} sous l'épaisseur de $0^{mm},6$ environ, avec des variations considérables. De plus, dans un grand nombre de cas, un anneau circulaire plus ou moins large taillé en biseau subsistait après la rupture (*fig.* 27) et perturbait d'une façon variable l'écoulement de la masse gazeuse du bief d'amont dans celui d'aval. Une trentaine d'essais ont été faits dans ces conditions. Le segment du tube occupé par l'atmsophère

Fig. 27.



comprimée avait une longueur de 256^{mm} et une capacité de 100^{cc} environ. Les vitesses de propagation observées sur un parcours de $3^{m},558$ ont atteint 550^{m} pour la pression de 38^{kg}, 502^{m} et 504^{m} pour des pressions de 16 à 17 atmosphères. Des vitesses de même ordre ont été observées en constituant en amont du diaphragme un réservoir de 13^{lit} formé par une bouteille à gaz comprimé.

Ces essais peu précis ne fournissent qu'une confirmation générale de la possibilité d'obtenir de grandes vitesses de propagation et, par suite, de créer des discontinuités par des moyens mécaniques en dehors de l'emploi des explosifs, et la preuve de l'importance secondaire de la capacité du réservoir au point de vue de la vitesse de propagation sur de faibles parcours.

EMPLOI DES DIAPHRAGMES DE COLLODION ET DE PAPIER.

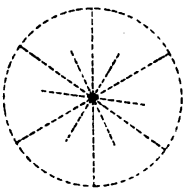
L'emploi de diaphragmes formés de plaques minces ($0^{mm},27$) de collodion, préparées en vue des usages photographiques, et de

Digitized by Google

papiers parcheminés a fourni des résultats réguliers pour deux valeurs de pressions, l'une élevée, 27^{kg}, et l'autre faible, 1^{kg} environ.

Les pressions de rupture restent généralement comprises entre des limites de 25^{atm} à 30^{atm} pour le collodion et de $0^{atm},95$ à 1^{atm} pour le papier : mais le point le plus important est que la rupture des diaphragmes est toujours complète et assure l'écoulement des gaz par toute section du tube. Le diaphragme présente, en général, une rupture étoilée (*fig.* 28) suivant une série de rayons réguliè-

Fig. 28.



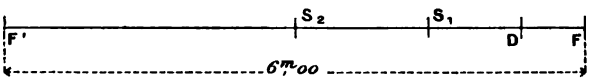
rement espacés et les segments ainsi formés se rabattent suivant la paroi du tube.

PROPAGATION D'UNE DISCONTINUITÉ DISSYMÉTRIQUE DANS L'AIR PAR RUPTURE D'UN DIAPHRAGME A 27^{kg}.

I. — *Chambre de compression :* $271^{mm},5$ (100^{cc}).

Dans ces expériences, le tube de 22^{mm} de diamètre était partagé en deux tronçons inégaux par le diaphragme D (*fig.* 29). La

Fig. 29.



chambre DF, de $271^{mm},5$ de longueur, servait de réservoir à gaz comprimé. Ce gaz se détendait au moment de la rupture du diaphragme dans la partie DF′ d'une longueur de 6^{m} environ. Les enregistreurs latéraux du type le plus sensible (ressorts $0^{mm},2$; flexion à bloc sous la pression de 2^{kg}) étaient placés à des distances variables du point D, de façon à étudier la loi de variation des vitesses avec la longueur de parcours. La position des enregistreurs S_1 et S_2 est définie par les valeurs des longueurs DS_1

Digitized by Google

et $S_1 S_2$ qui caractérisent les quatre séries d'expériences indiquées plus loin.

Correction des retards propres aux enregistreurs.

Il a été reconnu nécessaire, pour les mesures relatives aux trajets très courts, d'éliminer les différences de retard de fonctionnement des enregistreurs par des expériences croisées dans lesquelles les enregistreurs étaient alternativement placés en tête ou en queue. Cette correction ne serait évidemment rigoureuse que si les retards des enregistreurs étaient constants et ne dépendaient pas de la position qu'ils occupent sur le tube. Mais, comme cette correction n'a eu d'importance que dans les cas où les deux appareils étaient à des distances du diaphragme très voisines, il y a lieu de regarder la méthode comme satisfaisante.

PREMIÈRE SÉRIE. — *Erreur à craindre dans le fonctionnement des signaux.*

$DS_1 = 358^{mm}$. $S_1 S_2 = 100^{mm}$.

Une première série, dans laquelle les deux enregistreurs ont été rapprochés autant que le permettaient les appareils, soit à 100^{mm}, a permis de vérifier l'ordre de grandeur des erreurs à craindre, la vitesse à mesurer étant de l'ordre de 600^{m} et la durée à observer de $0^{ms},16$ environ.

Le Tableau suivant donne les durées observées dans dix expériences, dans lesquelles les positions des enregistreurs ont été alternées :

NUMÉROS des expériences.	POSITION 1-2 DES ENREGISTREURS. — Durées.	NUMÉROS des expériences.	POSITION 2-1 DES ENREGISTREURS. — Durées.
	ms		ms
2321	0,37	2319	0,07
2322	0,20	2320	0,06
2323	0,17	2327	0,12
2325	0,44	2328	0,12
2326	0,18	2329	0,08
	$M_1 = 0,27$		$M_2 = 0,09$

$\frac{M_1 + M_2}{2} = 0^{ms},18$. Vitesse correspondante : $555^{m},6$.

Digitized by Google

L'erreur à craindre sur la moyenne ne paraît pas dépasser $\frac{2}{100000}$ à $\frac{3}{100000}$ de seconde.

Les séries suivantes sont suffisamment définies par les valeurs des longueurs DS_1 et S_1S_2. Les résultats sont contenus dans les Tableaux suivants :

DEUXIÈME SÉRIE. — $DS_1 = 52^{mm}$. $S_1S_2 = 406^{mm},5$.

NUMÉROS des expériences.	POSITION 1-2 DES ENREGISTREURS. — Durées.	NUMÉROS des expériences.	POSITION 2-1 DES ENREGISTREURS. — Durées.
	ms		ms
2313	0,72	2316	0,49
2314	0,83	2317	0,50
2315	0,85	2318	0,47
	$M_1 = 0,80$		$M_2 = 0,49$

$\frac{M_1 + M_2}{2} = 0^{ms},65$. Vitesse correspondante : $625^m,4$.

TROISIÈME SÉRIE. — $DS_1 = 457^{mm}$. $S_1S_2 = 1^m,431$.

NUMÉROS des expériences.	POSITION 1-2 DES ENREGISTREURS. — Durées.	NUMÉROS des expériences.	POSITION 2-1 DES ENREGISTREURS. — Durées.
	ms		ms
2333	2,53	2336	2,47
2334	2,28	2337	2,26
2335	2,33	2338	2,25
	$M_1 = 2,38$		$M_2 = 2,33$

$\frac{M_1 + M_2}{2} = 2,36$. Vitesse correspondante : $606^m,4$.

Digitized by Google

QUATRIÈME SÉRIE. — $DS_1 = 457^{mm}$. $S_1S_2 = 3^m, 558$.

NUMÉROS des expériences.	POSITION 1-2 DES ENREGISTREURS. — Durées.	NUMÉROS des expériences.	POSITION 2-1 DES ENREGISTREURS. — Durées.
	ms		ms
2330	6,58	2307	6,17
2332	6,24	2308	6,23
2331	5,96		
	$M_1 = 6,26$		$M_2 = 6,20$

$\frac{M_1 + M_2}{2} = 6,23$. Vitesse correspondante : $570^m, 5$.

Ces résultats conduisent aux valeurs suivantes des vitesses de propagation sur les parcours successifs :

Distance au diaphragme.	Vitesse dans l'intervalle.
m m 0,052 à 0,4585	m 625,4
0,457 à 1,888	606,4
1,888 à 4,015	549,6

La vitesse décroît environ de 20^m (soit de $\frac{3}{100}$ de sa valeur) par mètre de parcours dans les limites considérées.

Ainsi donc, d'une part la détente brusque d'une faible masse d'air comprimé à 27 atmosphères assure des vitesses de propagation supérieures à 600^m dans un milieu de même nature sous la pression atmosphérique, et de plus, cette vitesse se maintient presque constante sur de longs parcours dans des conditions très différentes de celles qui ont été observées pour les discontinuités produites par une amorce explosive.

II. — *Influence de la longueur du tube formant réservoir en amont du diaphragme.* (Chambre de $2^m, 508$.)

L'influence négligeable de l'allongement et de l'accroissement de capacité du réservoir a été mise en évidence au moyen d'une cinquième série d'expériences effectuées comparativement avec la troisième série, expériences dans lesquelles on a substitué au tube réservoir de $271^{mm}, 5$ en amont du diaphragme un tube de même

Digitized by Google

diamètre de $2^m,508$ de longueur et présentant une capacité sensiblement décuple.

CINQUIÈME SÉRIE. — *Réservoir* $2^m,508$. $DS_1 = 457^{mm}$. $S_1S_2 = 1^m,431$.

NUMÉROS des expériences.	POSITION 1-2. Durées.	NUMÉROS des expériences.	POSITION 2-1. Durées.
	ms		ms
2343	2,40	2339	2,28
2344	2,48	2340	2,32
2345	2,37	2341	2,26
	$M_1 = 2,417$		$M_2 = 2,285$

$\frac{M_1 + M_2}{2} = 2,35$. Vitesse correspondante $= 608^m,9$.

La troisième série, avec réservoir de $0^m,271$ et les mêmes valeurs de DS_1 et de S_1S_2, avait donné $606^m,4$. L'influence sur la vitesse de propagation de l'allongement du réservoir est donc négligeable.

Cette conclusion, à première vue paradoxale, s'explique par le fait que la discontinuité des pressions qui assure la vitesse de propagation de 600^m est bien inférieure à la valeur de 27 atmosphères et ne dépasse pas 3^{kg}. La grandeur du réservoir n'intervient que pour alimenter, sur un parcours plus ou moins important, la discontinuité de 3^{kg} ; elle n'agit par suite que sur la loi d'amortissement des vitesses et non sur leur valeur initiale.

PROPAGATION D'UNE ONDE DISSYMÉTRIQUE PAR LA RUPTURE D'UN DIAPHRAGME SOUS LA PRESSION DE 2 ATMOSPHÈRES ABSOLUES (1 ATMOSPHÈRE EFFECTIVE).

Ces expériences n'ont différé des précédentes que par l'emploi de diaphragmes de faible résistance en papier calque. Ces diaphragmes rompaient très régulièrement sous une pression effective de $0^{kg},95$ à 1^{kg}.

Le réservoir à gaz était constitué par un segment de tube de $271^{mm},5$. L'intervalle des signaux était de $3^m,558$, comme dans la quatrième série ci-dessus ; la distance S_1D du premier enregistreur au diaphragme a varié de 158^{mm} à 457^{mm} sans modification appréciable des vitesses.

Digitized by Google

$S_1S_2 = 3^m,558.$

NUMÉROS des expériences	PREMIÈRE SÉRIE $DS_1 = 158^{mm}$. — Durées observées.	NUMÉROS des expériences	DEUXIÈME SÉRIE $DS_1 = 457^{mm}$. — Durées observées.
	ms		ms
2299	9,21	2302	9,49
2300	9,25	2303	9,43
2301	9,06	2305	8,52
		2306	9,04
	M = 9,17		M = 9,12
Vitesse correspondante : 388m,0.		Vitesse correspondante : 390m,2.	

On a vu précédemment que l'influence de la permutation des enregistreurs est négligeable sur les parcours de $3^m,558$. La vitesse de propagation dans l'air de 389^m, obtenue par la pression absolue de 2 atmosphères, est donc comparable à la vitesse de $570^m,5$ obtenue par la pression de 27 atmosphères.

Conclusions. — La rupture d'un diaphragme sous la pression très faible de 1^{kg} suffit donc à déterminer des phénomènes de propagation dont la vitesse est franchement supérieure (de 50^m) à la vitesse du son. Ces vitesses croissent rapidement avec la pression de rupture et atteignent des valeurs supérieures de 250^m à la vitesse du son sous des pressions de rupture de 27 atmosphères.

Il convient de remarquer que dans ces essais la grandeur de la discontinuité entretenue sur le front de l'onde et d'où résulte la vitesse de propagation reste inconnue, et nous allons voir dans le Chapitre suivant que la valeur de l'accroissement brusque de pression est très différente de la pression de rupture du diaphragme. Il n'y a donc pas de relation directe à établir entre cette pression de rupture et la vitesse de propagation observée.

Digitized by Google

CHAPITRE IX.

ÉTUDE DE LA RÉPARTITION DES PRESSIONS DANS UN TUBE APRÈS LA RUPTURE D'UN DIAPHRAGME.

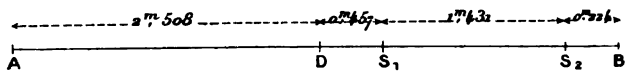
Comme suite aux expériences décrites au Chapitre précédent, j'ai cherché à réaliser la rupture d'un diaphragme sous des pressions élevées dans des conditions telles que la loi de propagation de la perturbation pût être enregistrée non seulement en aval, mais également en amont du diaphragme. Le phénomène étant dissymétrique ne devait pas donner lieu à la même vitesse de propagation dans les deux sens.

En même temps j'ai cherché à obtenir l'enregistrement continu des pressions par l'emploi d'enregistreurs à ressorts moins sensibles que ceux qui avaient été antérieurement adoptés en vue d'accroître la précision des pointés correspondant à l'arrivée de l'onde.

Le présent Chapitre est consacré aux expériences encore peu nombreuses entreprises suivant cette méthode sous des pressions de rupture de 27 atmosphères.

Dsposition idu tube. — Le tube était partagé par le diaphragme, comme l'indique la *fig.* 30, en deux parties DA, DB à peu près

Fig. 30.



D diaphragme.
S_1 1er enregistreur.
S_2 2e enregistreur.

égales : $2^m,508$ et $2^m,112$. Les enregistreurs étaient distants de $1^m,431$ comme dans la troisième série du Chapitre précédent, avec intervalle de 457^{mm} entre le diaphragme et le premier enregistreur.

La pression pouvait être donnée soit à droite, soit à gauche du diaphragme. Si la pression était donnée à gauche, on était dans le

Digitized by Google

cas de la cinquième série du Chapitre précédent et l'on observait la vitesse de propagation à l'aval (vitesse de $608^m,9$ entre S_1, S_2). Si la pression était donnée à droite, les ressorts S_1 et S_2 étaient soumis au début de l'expérience à la pression de 27 atmosphères et, à l'instant de la rupture, une *dépression* remontait du diaphragme dans la région DB, et son passage en S_1 et S_2 pouvait être enregistré grâce aux dispositions suivantes :

Disposition des enregistreurs. — Les enregistreurs étaient formés de ressorts à branches de $0^{mm},8$ d'épaisseur qui donnaient des flexions de $0^{mm},20$ par atmosphère environ, soit douze fois moindres que les signaux très sensibles utilisés dans les essais antérieurs.

L'expérience a montré que cette sensibilité était suffisante pour l'enregistrement du passage de l'onde en aval du diaphragme. On a trouvé en effet dans l'essai n° **2348** la vitesse de $601^m,8$ qui ne diffère pas sensiblement de la vitesse de $608^m,9$ obtenue dans les mêmes conditions avec les enregistreurs sensibles (cinquième série).

L'enregistrement de la dépression en amont du diaphragme présentait une difficulté particulière tenant à l'incertitude de la pression de rupture, incertitude atteignant 2 atmosphères de part et d'autre de la pression moyenne de 27 atmosphères. Le chargement du réservoir devait donc d'une part s'effectuer, l'appareil étant en marche, prêt à inscrire les phénomènes suivant la rupture du diaphragme, et d'autre part, le tracé devait permettre d'observer la courbe de dépression sans qu'elle fût masquée par la courbe montante correspondant à la charge lente du réservoir.

La solution adoptée dans les premiers essais a consisté à charger le réservoir jusqu'à une pression de 25 atmosphères, inférieure à la rupture du diaphragme, en laissant les cylindres tournants immobiles. Les tracés se réduisaient à un trait AB parallèle (*fig.* 31) aux génératrices. La course des ressorts était limitée à cette valeur au moyen de butées convenables. Il était dès lors possible de mettre en mouvement les cylindres et de faire croître la pression jusqu'à la rupture du diaphragme sans provoquer de flexion nouvelle des ressorts qui décrivaient le trait BC correspondant à la pression de 25 atmosphères.

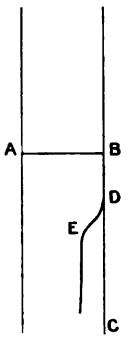
Après la rupture du diaphragme, lorsque la dépression remon-

Digitized by Google

tait le réservoir, les enregistreurs ne se mettaient en mouvement que lorsque la pression tombait au-dessous de 25 atmosphères, c'est-à-dire avec un retard.

Mais l'expérience a montré que la pression s'abaissait suivant DE d'une façon très rapide et atteignait, pour les deux enregis-

Fig. 31.



treurs S_1 et S_2, 15 à 16 atmosphères en $\frac{1}{1000}$ de seconde; le retard d'enregistrement était donc faible et, à coup sûr, comparable pour les deux enregistreurs.

Les résultats suivants ont été recueillis dans deux essais : l'un, n° **2347**, effectué en établissant la pression du côté DB des enregistreurs, à droite du diaphragme, et l'autre, n° **2348**, effectué en établissant la pression en AB, à gauche du diaphragme.

Étude de l'onde d'amont. — Tracés n° **2347**.

La rupture s'est produite à 29 atmosphères.

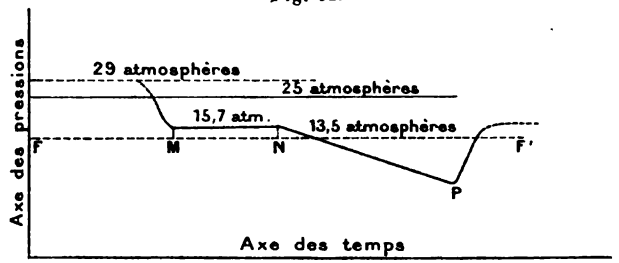
Les dépressions observées en S_1 et S_2 consistent en une chute brusque dont le minimum M est atteint en moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde. Cette durée est très voisine de la période oscillatoire propre au ressort (*fig.* 32).

La chute est suivie d'un palier MN, où la pression $15^{atm},7$ est plus élevée que la valeur moyenne finale FF' ($13^{atm},5$). Après le palier, la pression décroît jusqu'en P, à la valeur de $8^{atm},3$, bien au-dessous de la pression moyenne, pour se relever brusquement au-dessus de la moyenne, sous l'influence de l'onde de retour d'aval.

Digitized by Google

La vitesse de propagation de la dépression finie $29 - 25 = 4^{atm}$ est de 281^{m}; mais la vitesse du front de l'onde, qui, ainsi que nous l'avons vu au Chapitre I, paraît devoir se propager sans discontinuité, pourrait être la vitesse normale du son, les grandes

Fig. 32.



dilatations se propageant plus lentement que les dilatations infiniment petites.

Le palier MN semble correspondre à la période pendant laquelle la dépression se propage jusqu'au fond du tube. Ce palier est, en effet, beaucoup plus long sur le tracé recueilli en S_1 que sur le tracé recueilli en S_2, et l'on conçoit, d'autre part, que dès que le courant gazeux cesse d'être alimenté par la chute de pression de 13 atmosphères qui se propage jusqu'au fond du tube, c'est-à-dire dès que la dépression s'est réfléchie à l'extrémité B, l'allure de la courbe change brusquement en N et la pression baisse rapidement.

Étude de l'onde d'aval. — Tracés n° 2348.

La rupture s'est produite à 29 atmosphères.

Les tracés recueillis en S_1 et S_2 (*fig.* 33) montrent une ascension brusque de la pression à 4 atmosphères absolues en moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde, durée voisine de la période propre des ressorts. La pression ne subit plus ensuite qu'un accroissement lent jusqu'à l'à-coup brusque en P_1 ou P_2 correspondant au retour de l'onde réfléchie sur le fond.

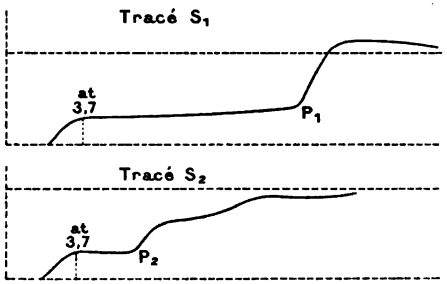
La vitesse de propagation de la surpression de $3^{kg},7$ est de $601^{m},8$ entre S_1 et S_2.

L'onde de retour se propage de P_2 en P_1 avec une vitesse *appa-*

Digitized by Google

rente très faible de 190^{m}. Mais cette vitesse ne correspond pas à la propagation dans un milieu en repos, mais dans un milieu

Fig. 33.



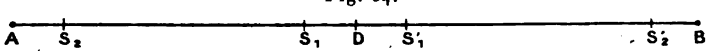
animé d'une vitesse considérable, de signe contraire à celui de la vitesse de propagation.

Coordination des résultats. — On peut réunir les résultats fournis par ces deux expériences de façon à constituer une représentation approchée de la loi d'écoulement de la masse gazeuse après la rupture du diaphragme.

Les vitesses de parcours des ondes observées correspondent à des déplacements de 1^{m},431 à partir de points situés à 457^{mm} de part et d'autre du diaphragme. Or, on a vu, par les expériences du Chapitre VIII, que cette vitesse variait très peu pour l'onde d'aval, avec la distance au diaphragme; d'autre part, la vitesse d'amont est voisine de celle du son et, par suite, faiblement variable; il est donc rationnel d'attribuer aux premiers parcours de 457^{mm} la vitesse observée dans les parcours suivants de 1^{m},431. Grâce à cette hypothèse, les quatre tracés obtenus dans les deux expériences peuvent être raccordés et fournissent à chaque instant quatre points de la courbe de répartition des pressions dans le tube.

On a réuni dans le Tableau suivant les valeurs simultanées des pressions indiquées par les tracés recueillis aux quatre points S_1,

Fig. 34.



S_2, S'_1, S'_2, deux à deux symétriques par rapport au diaphragme (*fig.* 34).

Digitized by Google

Tableau des pressions simultanées aux points S_1, S_2, S'_1, S'_2.

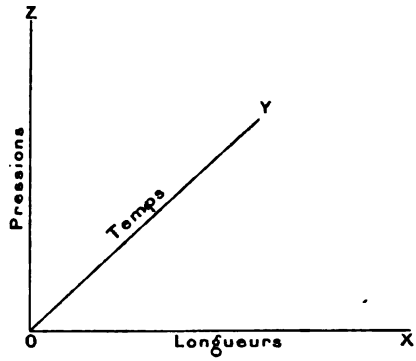
TEMPS.	ENREGISTREURS S_2	S_1	S'_1	S'_2	OBSERVATIONS.
ms	atm	atm	atm	atm	
0,00	29	29	1	1	État initial avant rupture du diaphragme.
0,76	29	29	1 3,7	1	L'onde d'aval atteint le premier enregistreur S'_1 et la pression s'élève en moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde à $3^{atm},7$.
1,63	29	29 15,7	3,5	1	L'onde d'amont atteint le premier enregistreur S_1 où la pression s'abaisse à $15^{atm},7$ en moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde.
3,13	29	15,7	4,2	1 3,7	L'onde d'aval atteint le deuxième enregistreur S'_2 où la pression s'élève en moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde à $3^{atm},7$.
4,30	29	15,7	4,5	3,4 10,1	L'onde d'aval réfléchie contre le fond du tube atteint l'enregistreur S'_2 où la pression s'élève de $3^{atm},4$ à $10^{atm},1$ en moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde.
6,72	29 14,1	15,7	6,3	12,7	L'onde d'amont atteint l'enregistreur S_2 où la pression s'abaisse à $14^{atm},1$ en moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde.
8,84	14,1	15,7	7,0	12,7	L'onde d'amont se réfléchit sur le fond et repasse sur l'enregistreur S_2 où la pression stationnaire commence à décroître d'une façon continue.
9,92	13,7	15,7	7,2	12,7	L'onde d'amont réfléchie atteint l'enregistreur S_1 où la pression jusque-là stationnaire à $15^{atm},7$ commence à décroître d'une façon continue.
11,83	12,3	12,7	7,2 17,9	14,3	L'onde d'aval réfléchie atteint l'enregistreur S'_1 où la pression s'élève brusquement de $7^{atm},2$ à $17^{atm},9$ en moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde.

Digitized by Google

Les temps choisis sont ceux pour lesquels l'un quelconque des quatre tracés a présenté une particularité telle que l'arrivée de l'onde ou le retour de l'onde réfléchie.

L'ensemble de ces résultats peut être rapproché par un mode de représentation simple dans lequel les longueurs des divers éléments du tube sont portées suivant l'axe OX (*fig.* 35), les pressions correspondant aux divers points suivant l'axe rectangulaire

Fig. 35.



OZ et enfin le temps suivant un axe OY, dont la perspective est inclinée à 45° sur les deux premiers axes.

Les données du Tableau ci-contre permettent de former une série de coupes de la surface représentative parallèles au plan XOZ et d'obtenir le diagramme ci-après.

La faible variation des pressions observées soit en S_1, soit en S_2 (*fig.* 36), dans la première période d'écoulement et jusqu'au moment où ces points sont atteints par les *ondes de retour,* oblige à considérer la chute de pression du réservoir d'amont chargé à 29 atmosphères comme s'effectuant en trois phases.

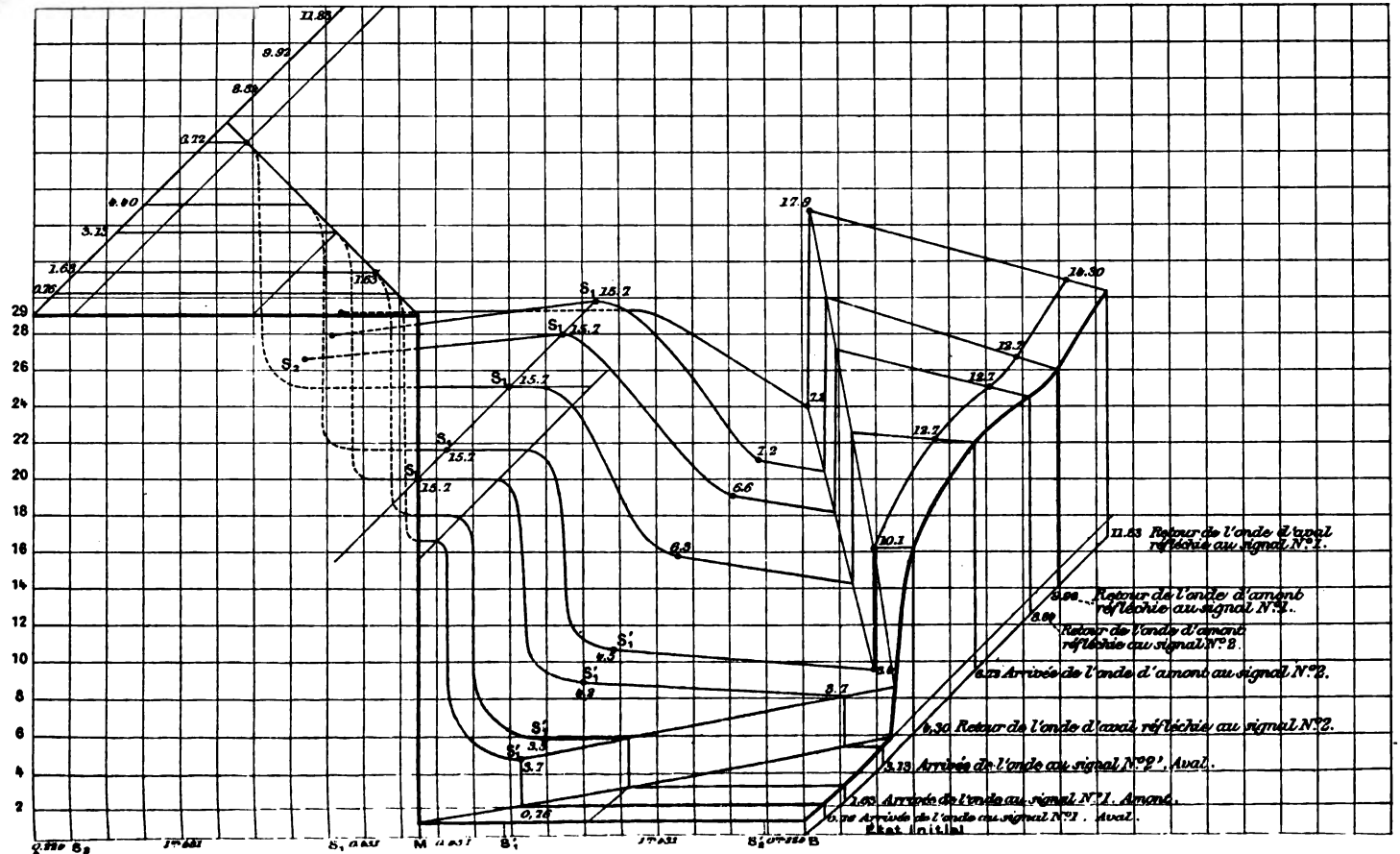
Une première chute brusque de 13 atmosphères remonte vers l'amont et suffit à entretenir la pression sensiblement constante à $15^{atm},7$ en avant du diaphragme.

La pression $3^{kg},8$ qui aborde le milieu en repos d'aval est la même en S'_1 et S'_2; d'autre part, cette pression persiste en S'_1 pendant tout le temps que l'onde d'aval parcourt le trajet S'_1 et S'_2 et cette même pression persiste en S'_2 jusqu'à l'arrivée de l'onde de retour; il existe donc une sorte de piston gazeux à la pression de $3^{kg},7$ qui accompagne le mouvement du front de l'onde et entre-

Digitized by Google

Fig. 36.

Tube de 4m,20 divisé en deux parties par un diaphragme. – Tracés 2347 et 2348.



A 7m,6 la dépression atteint l'extrémité gauche avec une vitesse de 381m.

En 1m,6 la condensation atteint l'extrémité droite avec une vitesse de 601m.

tient la discontinuité à cette même valeur de $3^{kg},7$ qui constitue une deuxième chute brusque de pression.

Entre ces deux nappes gazeuses entretenues, l'une en amont du diaphragme à $15^{kg},7$, l'autre en aval du diaphragme à $3^{kg},8$, il existe une troisième chute de pression considérable dont le rôle paraît être la mise en vitesse à 600^{m} du piston gazeux chargé d'assurer la discontinuité d'aval.

Le fait fondamental mis en évidence par ces mesures c'est que des vitesses de propagation dans l'air de 600^{m} se trouvent entretenues par une nappe gazeuse présentant une différence de pression de 3^{kg} environ avec le milieu non perturbé.

L'examen des tracés obtenus pour les mêmes vitesses de propagation, dans des conditions d'expérience très différentes, conduit à la même conclusion. On a vu, au Chapitre VIII (3e série), que des vitesses de 600^{m} pouvaient également être obtenues sur le parcours de $1^{m},431$ par la détente brusque de réservoirs à gaz beaucoup plus petits que ceux dont le fonctionnement vient d'être étudié. (Réservoir de $0^{m},271$ au lieu de $2^{m},50$.)

Dans ces conditions les pressions sont moins soutenues; la discontinuité qui atteint les enregistreurs ne donne pas lieu à l'inscription de paliers favorables à la précision des mesures de pression. De plus, l'amortissement de la discontinuité paraît sensible entre les deux points distants de $1^{m},431$. Il est remarquable que, malgré ces différences importantes de fonctionnement, la même surpression de 3^{kg} environ suffise à assurer la vitesse de propagation de 600^{m}.

Le Tableau suivant renferme à titre de simple indication les valeurs des pressions enregistrées dans les conditions de la 3e série d'essais du Chapitre VIII, soit avec les ressorts à branches précédemment décrits, soit avec des enregistreurs à ressorts à barreaux dont la période oscillatoire plus courte permettait d'assurer le fonctionnement statique d'une façon plus correcte. Les valeurs affectées de l'indice $\frac{\varepsilon}{2}$ sont des valeurs minima, le fonctionnement du ressort ayant été considéré comme dynamique et la pression calculée d'après la moitié de l'écrasement.

Digitized by Google

	NUMÉROS des tracés.	LONGUEUR de la chambre de pression.	PRESSIONS ABSOLUES observées. 1er enregistreur.	2e enregistreur.	OBSERVATIONS.
			atm	atm	
Diaphragme collodion de $0^{mm},29$ d'épaisseur. Rupture sous la pression de 29^{atm}.	2350	271^{mm}	$5,2\,\frac{\varepsilon}{2}$	$5,0\,\frac{\varepsilon}{2}$	Ressorts de $0^{mm},8$ à branches, pistons libres.
	2351	»	$3,5\,\frac{\varepsilon}{2}$	$4,0\,(\varepsilon)$	Ressorts de $0^{mm},8$ à branches, pistons vaselinés.
	2352	»	$3,4\,\frac{\varepsilon}{2}$	3,8	Ressorts de $0^{mm},8$ à branches, pistons vaselinés.
	2371	»	5,0	4,7	Ressorts à barreaux de $1^{mm},50$.
	2372	»	4,2	3,40	Ressorts à barreaux de 1^{mm}.
	2373	»	5,0	4,0	» »
		Moyenne.	4,4	4,1	

CONCORDANCE DES DONNÉES EXPÉRIMENTALES ET DES ÉVALUATIONS THÉORIQUES.

Il reste à montrer dans quelle mesure les vitesses de propagation et les pressions observées sont compatibles avec les valeurs que fournit la théorie de la propagation des discontinuités.

Si l'on porte, dans l'expression de la vitesse de propagation

$$V = \sqrt{-\frac{1}{\rho_0}\frac{P_1 - P_0}{z_1 - z_0}},$$

la valeur de $z_1 - z_0$ tirée de la loi adiabatique dynamique d'Hugoniot relative aux gaz parfaits

$$P_1 = P_0\,\frac{2(1+z_0) - (m-1)(z_1 - z_0)}{2(1+z_0) + (m-1)(z_1 - z_0)},$$

on obtient, en supposant le milieu en repos, c'est-à-dire $z_0 = 0$, l'expression

$$V = \sqrt{\frac{1}{\rho_0}\frac{P_0}{2}\left[2m + (m+1)\frac{P_1 - P_0}{P_0}\right]},$$

qui permet de calculer les variations brusques de pression susceptibles de se propager avec la vitesse V dans le milieu de densité ρ_0 à la pression P_0.

Si l'on admet le nombre 1,40 pour le rapport des chaleurs spé-

Digitized by Google

cifiques de l'air, on obtient pour les valeurs $P_1 = 38\,000$ et $P_0 = 10\,333$, qui correspondent aux mesures les plus précises effectuées sur les valeurs des pressions (Tracé **2347**), la vitesse théorique de propagation de 600^m qui diffère à peine de la valeur $601,8$ obtenue dans l'expérience elle-même ou de la moyenne $608^m,9$ observée dans les essais analogues effectués sans mesure des pressions (2e série du Chapitre VIII).

Nous trouvons donc, dans le seul cas où les pressions aient été mesurées, une concordance complète entre la théorie et les données de l'expérience.

CHAPITRE X.

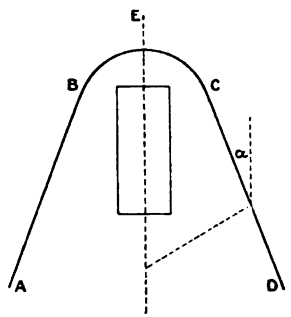
APPLICATIONS DIVERSES DE LA THÉORIE DES DISCONTINUITÉS.

La notion des discontinuités apporte quelques éclaircissements à la théorie de plusieurs phénomènes physiques assez obscurs.

1. — *Loi de la résistance de l'air au mouvement des projectiles.*

Les expériences de Mach et de Boys ont montré qu'un projectile, se mouvant dans l'air à grande vitesse, détermine une per-

Fig. 37.



turbation brusque du milieu qui accompagne le projectile sous forme d'une ride ABCD formant une surface de révolution autour

Digitized by Google

de son axe et dont la section méridienne se compose de deux droites symétriques AB, CD et d'une courbe de raccordement BEC (*fig.* 37).

La vitesse de propagation normale de cette onde est évidemment variable en chaque point et égale à $V \sin\alpha$, en désignant par α l'angle de l'axe et de la tangente à la section méridienne au point considéré.

L'expérience montre que la vitesse des rides rectilignes AB, CD est égale à la vitesse normale du son et c'est sur cette vérification qu'est fondé un mode élégant de mesure acoustique des vitesses des projectiles.

Mais il est évident que, en E où $\sin\alpha = 1$, la vitesse de propagation est égale à la vitesse du projectile.

Or cette vitesse atteint, avec les projectiles modernes, des valeurs considérables, telles que 800, 1000 et 1200 mètres.

Un pareil phénomène ne peut être entretenu que par la formation d'une discontinuité dont la vitesse de propagation soit précisément égale à celle du projectile.

Il semble que pour les gros projectiles de rupture de la marine, dont la surface antérieure est sensiblement plane, la surface de l'onde BEC est assez surbaissée pour que le fonctionnement, dans la région centrale en face de la tête du projectile, soit assimilable à la propagation d'une onde plane, le rôle du projectile se réduisant à entretenir une discontinuité constante malgré les déperditions latérales.

J'ai cherché à comparer les valeurs des résistances de l'air obtenues expérimentalement pour ces grandes vitesses aux valeurs que la théorie assigne aux discontinuités assurant les mêmes vitesses de propagation.

Les vitesses théoriques de propagation sont données, ainsi qu'il a été établi plus haut, par la formule

$$V = \sqrt{\frac{1}{\rho_0}\frac{P_0}{2}\left[2m + (m+1)\frac{P_1 - P_0}{P_0}\right]},$$

où ρ_0 est la masse de l'unité de volume du milieu en repos et $m = 1{,}40$ le rapport des chaleurs spécifiques.

La résistance que l'air oppose aux mouvements des projectiles se déduit de tirs balistiques aux vitesses restantes, et les données

Digitized by Google

expérimentales s'étendent aujourd'hui des vitesses les plus faibles jusqu'aux vitesses de 1100 à 1200 mètres.

Les projectiles cylindriques ont donné lieu notamment à Gavre à 138 tirs qui ont fait l'objet d'une compensation très soignée de la part du capitaine Gibert.

Il a montré que la fonction $\varphi(V)$ de la vitesse à laquelle est proportionnelle la résistance est telle que sa racine carrée est une fonction linéaire de la vitesse, de telle sorte que le diagramme obtenu, en portant en ordonnées les valeurs de $\sqrt{2\varphi(V)}$ et en abscisses les valeurs de V pour les 138 tirs signalés plus haut, détermine, entre les limites de 350 et de 1100 mètres, une droite dont tous les points d'expériences ne s'écartent que de quantités visiblement accidentelles.

Cette compensation, faite en dehors de toute préoccupation théorique, m'a paru la plus convenable pour évaluer les pressions par centimètre carré exercées sur les projectiles cylindriques pour des vitesses comprises entre 400 et 1200 mètres.

Ces pressions représentent la différence entre la surpression appliquée à la face antérieure plane du projectile et la dépression qui se produit au culot.

Le Tableau suivant rapproche les résistances observées des surpressions théoriques.

VITESSE des projectiles cylindriques.	RÉSISTANCE en kilogrammes par centimètre carré observée.	SURPRESSION théorique assurant la vitesse de propagation égale à celle du projectile.	DIFFÉRENCE.
	kg		
400	1,25	1,58	0,33
600	3,26	3,78	0,52
800	6,23	6,85	0,62
1000	10,15	10,81	0,66
1200	15,01	15,64	0,63

Si l'on tient compte de la dépression à l'arrière du projectile, qui est d'autant plus grande que la vitesse est plus forte, on est conduit à considérer comme identiques les pressions appliquées à l'avant d'un projectile plan en mouvement et les valeurs que la

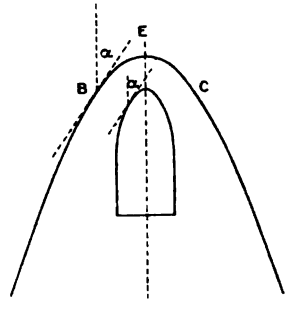
Digitized by Google

théorie assigne à la discontinuité susceptible de se propager avec la même vitesse.

Il importe de remarquer que cette coïncidence est liée à l'expression de la loi adiabatique dynamique et que la loi statique eût conduit à des valeurs notablement supérieures aux valeurs expérimentales. Ainsi, la vitesse de 1200 mètres exigerait une surpression de $17^{kg},24$, supérieure de $2^{kg},2$ à la résistance observée.

Le fonctionnement se complique évidemment dans le cas d'un projectile ogival et ne se prête pas à des vérifications quantitatives; on peut du moins se rendre compte de la diminution des pressions observées, si l'on remarque que la surface de discontinuité qui accompagne le projectile épouse, en quelque sorte, sa forme (*fig.* 38). Dès lors les vitesses de propagation des divers points de cette surface, au lieu d'être égales à la vitesse du projectile dans la région centrale voisine de la tête comme dans le cas des projectiles cylindriques, se trouvent réduites pour le projectile ogival à $V \sin\alpha$, α étant un angle de l'ordre de grandeur du demi-angle ogival. Les pressions de discontinuité, correspondant à ces

Fig. 38.



vitesses de propagation réduites, sont très inférieures à celles qui accompagnent le projectile plan.

Il est vraisemblable que la formule s'applique à des vitesses beaucoup plus considérables que la limite qui s'est trouvée fortuitement atteinte dans les vérifications expérimentales d'ordre balistique, et l'on peut lui demander quelques indications sur le fonctionnement de projectiles se mouvant avec des vitesses planétaires de quelques kilomètres à la seconde.

Digitized by Google

Le Tableau suivant donne les valeurs des pressions et des températures correspondant à ces vitesses d'après la formule.

VITESSES DU PROJECTILE.	PRESSIONS.	TEMPÉRATURES.
m	kg	o
1200	15,64	680
2000	43,8	1741
4000	175,6	7751
10000	1098	48490

Sans attribuer à ces nombres une valeur absolue on peut penser que l'incandescence des bolides, les érosions de leur surface et les ruptures qui accompagnent leur passage dans notre atmosphère sont explicables par les valeurs des pressions et des températures que fait prévoir la loi de propagation des discontinuités, même en tenant compte de la raréfaction du milieu traversé.

II. — *Propagation des phénomènes explosifs.*

Les réactions explosives se propagent suivant deux modes distincts. Le premier constitue la combustion simple qui s'opère par conductibilité avec des vitesses ordinairement très faibles. Le deuxième mode est le régime de détonation ou de propagation par onde explosive, dans lequel la réaction progresse généralement avec des vitesses considérables atteignant plusieurs milliers de mètres par seconde.

Les conditions relativement simples de la détonation des mélanges gazeux explosifs sont aujourd'hui bien connues à la suite des recherches que nous avons effectuées M. Berthelot et moi et de celles qui ont été publiées par MM. Mallard et Le Chatelier. On sait que la réaction se propage par une onde à vitesse constante qui est le siège d'une modification physique et chimique. Sa vitesse peut atteindre 5 à 6 fois la vitesse normale du son dans le milieu. C'est ainsi que, pour le mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène, la vitesse de propagation est de 2800 mètres, la vitesse du son dans le mélange étant de 500 mètres environ. Ce point fondamental résulte de nombreuses déterminations; on a rapproché, dans le Tableau suivant, les vitesses de détonation

Digitized by Google

observées sur divers mélanges explosifs des vitesses de propagation du son dans le milieu primitif.

NATURE DU MÉLANGE.	VITESSE OBSERVÉE	VITESSE DU SON dans le milieu.	RAPPORT.
	m	m	
Hydrogène $H^2 + O^2$	2810	514	5.5
Oxyde de carbone $C^2O^2 + O^2$.	1089	328	3.3
Acétylène $C^4H^2 + O^{10}$	2482	323	7.7
Éthylène $C^4H^4 + O^{12}$	2209	320	6.9
Méthyle $C^4H^6 + O^{14}$	2363	317	7.5
Formène $C^2H^4 + O^8$	2287	345	6.6
Cyanogène $C^4Az^2 + O^8$	2195	286	7.6

Si les phénomènes de détonation sont bien connus, leur mécanisme intime reste pourtant obscur et les divers systèmes actuellement en présence ne semblent pas susceptibles de rendre compte des grandes vitesses de propagation observées si l'on n'y joint pas la notion d'une discontinuité entretenue à l'*état de régime* par la réaction chimique qui l'accompagne.

Un premier système d'interprétation consiste à scinder, pour ainsi dire, le phénomène de détonation en deux parties; la réaction est considérée comme produite par une élévation de température préalable due au phénomène purement physique de compression adiabatique du milieu considéré comme inerte. Le phénomène chimique est, dans cette hypothèse, consécutif à la compression et peut même comporter un certain retard par rapport au passage de l'onde mécanique; il n'intervient pas, en tout cas, pour modifier la constitution du milieu dans lequel se propage l'onde mécanique et son rôle se borne à entretenir la valeur élevée de la condensation propagée par l'onde.

Dans cette hypothèse la vitesse de propagation est donc la vitesse de propagation dans le milieu inerte. Or cette vitesse ne peut être que la vitesse normale du son tant qu'une discontinuité n'a pas envahi le front de l'onde. A ce moment seulement une élasticité nouvelle intervient d'autant plus élevée que la discontinuité des pressions qui s'établit sur le front de l'onde est plus considérable. On trouve, par exemple, qu'une discontinuité d'une quarantaine d'atmosphères serait suffisante pour assurer la vitesse

Digitized by Google

de propagation de 2800 mètres observée sur le mélange tonnant d'oxygène et hydrogène. La réaction décuplant la pression initiale, il suffit que l'étincelle ou l'amorce initiale ait porté le mélange tonnant à une pression de 4 kilogrammes avant la réaction pour que le phénomène s'amorce d'emblée. A défaut de ce mode d'excitation, les oscillations de la colonne gazeuse pourront, comme l'ont montré MM. Mallard et Le Chatelier, entraîner des condensations susceptibles de donner naissance, après une période d'état variable, à la discontinuité capable d'assurer les grandes vitesses de propagation.

La notion de discontinuité permet donc de rattacher à des lois de propagation, vérifiées en milieu inerte, le mécanisme dynamique de la détonation tel qu'il a été proposé par M. Berthelot pour tous les milieux explosifs.

Un deuxième système d'interprétation du mécanisme de détonation a été proposé par M. Duhem.

Nous avons vu que, dans l'hypothèse de la continuité, l'élasticité du milieu considéré comme inerte ne permet pas d'expliquer des vitesses de propagation d'un ébranlement supérieures à celle du son; mais si l'on considère le milieu comme en état d'*équilibre* chimique, l'équation caractéristique de ce milieu ne dépend plus seulement de deux variables indépendantes, température et volume, mais encore de la fraction de combinaison du mélange qui assure l'équilibre chimique du système dans chacune de ses transformations. On conçoit donc que l'élasticité de ce milieu, en transformation simultanée physique et chimique, puisse être différente de l'élasticité du même milieu considéré comme inerte, que cette élasticité puisse se trouver surélevée si, par exemple, la réaction est exothermique sans variation de volume et que cette élasticité soit, au contraire, réduite si la réaction est endothermique.

Dans un milieu en équilibre chimique, la vitesse de propagation, qui est proportionnelle à la racine carrée de cette élasticité, peut donc, même dans l'hypothèse de la continuité du milieu, être différente de la vitesse normale du son.

Mais il convient d'insister sur ce point que cette théorie suppose qu'à une variation infiniment petite des variables physiques v et t, qui caractérisent le milieu, correspond une variation du taux de

Digitized by Google

combinaison du mélange. Il est possible que ces conditions soient remplies dans certains milieux chimiques, mais elles sont certainement bien loin d'être réalisées pour les mélanges gazeux détonants les mieux connus auxquels s'appliquent les grandes vitesses signalées plus haut.

Ces mélanges peuvent, en effet, supporter des compressions considérables, des élévations de température de plusieurs centaines de degrés sans que la variable chimique intervienne; il est donc nécessaire de concevoir une phase préparatoire dans laquelle le milieu fonctionne comme inerte jusqu'au moment où il atteint, par une modification finie des variables physiques, la limite des faux équilibres. La réaction chimique ne peut aller plus vite que ce phénomène préparatoire; or, tant qu'il y aura continuité, cette modification des variables physiques ne peut faire naître une élasticité et une vitesse de propagation différentes de celles qui correspondent à la propagation du son.

On est donc encore, par cette théorie des phénomènes, amené à supposer la création d'une discontinuité. Cette discontinuité ne mettra pas en jeu toutefois l'élasticité adiabatique dynamique d'Hugoniot relative aux milieux considérés comme inertes, mais l'élasticité complexe résultant de l'introduction, à partir d'une certaine valeur du volume et de la température, de la variable chimique caractérisant la fraction de combinaison.

Digitized by Google

SUR UN

NOUVEAU MODE DE CHARGEMENT

DES POUDRES DE CHASSE;

PAR

M. BARRAL,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

Chargement actuel. — A l'origine, dans toutes les armes, canons ou fusils, quel qu'en soit le calibre, on tirait à chambre pleine, le projectile étant directement en contact avec la poudre; la densité de chargement était ainsi étroitement liée à la densité gravimétrique (1).

Toutefois on reconnut bientôt l'utilité d'ajouter entre la poudre et le projectile des matières plus ou moins légères et plastiques, appelées *bourres* pour les armes portatives, *valets, tampons, sabots* pour les bouches à feu, dont la présence avait généralement pour résultat de diminuer la densité de chargement.

C'est encore de cette façon que se chargent les fusils de chasse lisses : dans le fusil Lefaucheux avec sa cartouche, comme auparavant dans le fusil à baguette, la poudre, les bourres et le plomb sont introduits successivement dans une capacité cylindrique, et la densité de chargement pour une même charge de poudre et de plomb varie constamment avec l'épaisseur des bourres, leur plasticité et les efforts de compression exercés.

Au contraire, pour toutes les autres armes, l'adoption du chargement par la culasse, qu'il comporte ou non l'emploi d'une car-

(1) On rappelle que : 1° la densité de chargement est le rapport de la charge de poudre introduite dans une arme à la capacité qui lui est réservée ou chambre à poudre, ou mieux au volume où les gaz de la combustion peuvent se répandre avant tout déplacement du projectile; 2° la densité gravimétrique d'une poudre est le poids d'un litre de cette poudre non tassée.

Digitized by Google

touche, a eu pour résultat de rendre fixe la position du projectile et, par suite, le volume de la chambre à poudre.

Inconvénients du mode de chargement actuel. — Tant qu'on s'est servi exclusivement de poudre noire, les inconvénients du mode de chargement actuel des fusils de chasse ont été assez peu sensibles pour passer inaperçus : mais aujourd'hui ces armes utilisent les poudres les plus diverses, nécessitant dans la confection des cartouches des précautions minutieuses et variables pour chacune d'elles, dont l'observation est essentielle pour en obtenir des résultats convenables.

Le procédé de chargement peut donc jouer dans certains cas un rôle prépondérant.

Ainsi on a essayé en 1897, à la poudrerie de Sevran, une poudre sans fumée d'origine allemande, la poudre *Forster,* qui se présente sous la forme de lamelles très légères, comme du papier découpé, et n'a qu'une densité gravimétrique de 0,327, bien inférieure à celle des poudres pyroxylées ordinaires, en sorte que la charge, très volumineuse, ne se loge dans des douilles de longueur ordinaire qu'à la condition d'être comprimée. Elle fut tirée dans un fusil calibre 16, les cartouches étant confectionnées suivant le mode adopté pour les poudres pyroxylées et comprenant des douilles *impression or* à amorce renforcée de la *Société des Munitions* de 65^{mm} seulement de longueur, sur la poudre une rondelle imperméable, une bourre grasse, une bourre sèche, puis 30^{gr} de plomb n° 6 recouverts d'une rondelle de carton mince : 5 coups chargés à 2^{gr} donnèrent tous des vitesses à 15^{m} (V_{15}) inférieures à 175^{m}, c'est-à-dire insignifiantes, le tir normal des poudres de chasse devant donner des vitesses de 250^{m} à 260^{m}.

En portant la charge à $2^{gr},2$, le résultat fut le même.

On supprima alors la bourre sèche superposée à la bourre grasse, et dans ces conditions 8 coups sur 10, dont 5 à la charge de 2^{gr} et 5 à la charge de $2^{gr},2$, donnèrent des vitesses supérieures à 175^{m}, avec les résultats moyens ci-après :

Charge employée.	Nombre de coups entrant dans les moyennes ci-après.	V_{15} moyen.	Écart moyen des vitesses.
$2^{gr},0$	4	$234^{m},4$	$13^{m},5$
$2^{gr},2$	4	$226^{m},8$	$20^{m},2$

Digitized by Google

On a donc amélioré le tir en augmentant la chambre à poudre, et l'accroissement de la charge ne semble pas avoir eu de bons effets : ces résultats, bizarres à première vue, s'expliquent par l'inflammation défectueuse de cette poudre quand elle est comprimée.

Cet exemple est caractéristique de l'influence qu'une compression exercée sur la poudre au moment de la confection des cartouches produit sur son inflammation et, par suite, sur ses effets balistiques : diverses autres poudres à grains fins ou plastiques ont donné lieu à des observations analogues, mais moins nettes.

Mais la compression a un effet tout différent si, en raison de la nature de la poudre, elle ne peut nuire à l'inflammation : la réduction de la chambre à poudre a pour résultat, suivant la loi générale pour toutes les armes à feu, d'accroître les vitesses et surtout les pressions, qui peuvent devenir dangereuses.

Nous citerons, dans cet ordre d'idées, des essais exécutés à Sevran, en 1897, avec la poudre sans fumée de Rottweil et avec une poudre du même genre d'origine française : la poudre de Rottweil se présente, comme la poudre Forster, sous forme de lamelles, mais de lamelles rigides : sa densité gravimétrique est de 0,566; la compression ne peut donc jouer le même rôle avec les deux poudres.

Canon calibre 16 *muni d'un appareil de mesure des pressions. Chargement ordinaire des poudres pyroxylées* (1).

POUDRE TIRÉE.		MODE DE CONFECTION de la cartouche.	CHARGE employée.	NOMBRE de coups tirés.	VITESSES A 15m		PRESSION moyenne.
					moyennes.	écart moy.	
			gr		m	m	kg
Rottweil	Poudre	non comprimée.....	1,9	3	247,8	8,27	307
Rottweil	Poudre	fortement comprimée.	1,9	3	261,9	5,33	475
Française.....	Poudre	non comprimée.....	1,7	3	251,9	5,10	404
Française.....	Poudre	fortement comprimée.	1,7	3	262,7	3,07	653

La simple compression a donc pu augmenter les pressions de plus de moitié.

Même dans l'emploi de poudres à grains résistants et assez gros, comme les poudres noires nos 0, 1, 2 et 3, les poudres J des nos 0,

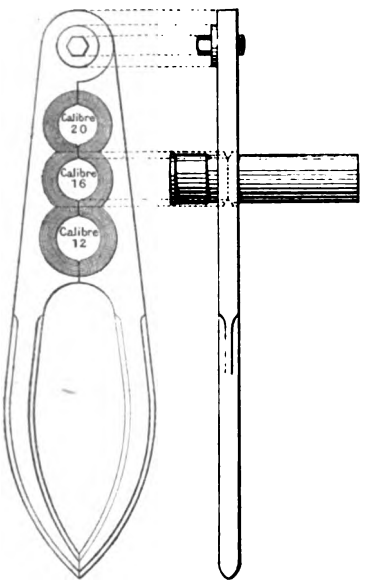
(1) Voir page 262.

Digitized by Google

1 et 2 et les poudres S actuelles, pour lesquelles des différences dans la compression exercée pendant la confection des cartouches sont sans effet sensible, le mode de chargement ordinaire, qui fait dépendre la densité de chargement du bourrage, n'est pas absolument sans inconvénient. On rappellera simplement l'augmentation de pression produite par la substitution aux bourres ordinaires de bourres en cire donnant certainement une meilleure obturation, mais moins compressibles (1).

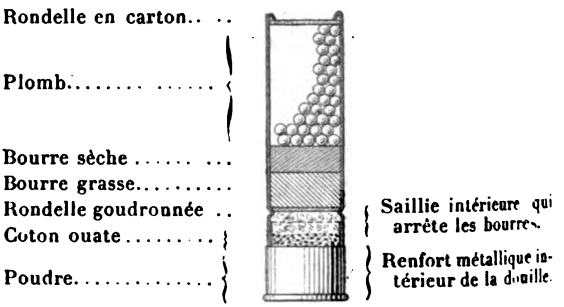
Chargement à volume constant. — M. Liouville, ingénieur

Fig. 1.



Pince pour servir à l'étranglement des douilles de chasse. — Échelle $\frac{1}{3}$.

Fig. 2.



Coupe d'une cartouche chargée suivant le mode de chargement spécial.

au Laboratoire central des Poudres et Salpêtres, s'est proposé d'examiner s'il n'y aurait pas un avantage notable à réserver à la poudre, dans les armes de chasse, comme cela se fait dans les

(1) Voir le *Mém. des Poudr. et Salp.*, t. VI, p. 208.

Digitized by Google

autres armes, une chambre de volume constant et, par suite, plus grand que le volume habituel.

Il recourut pour ses essais à deux artifices différents.

Le premier consiste à enfoncer les bourres à une profondeur constante au moyen d'un bourroir dont la course est limitée, par exemple, par un épaulement buttant contre le rebord de la douille : ce procédé a été appliqué au cours des essais au moyen d'une machine à levier, dite à *butée fixe,* avec laquelle il était aisé de régler à volonté la course du bourroir. Il a servi surtout pour éviter la compression dans les essais comparatifs avec le second procédé de chargement qui réalise vraiment le chargement à volume constant.

Dans celui-ci les bourres sont enfoncées à une profondeur fixe où elles rencontrent un arrêt infranchissable : les moyens de réaliser ce dispositif, renforts suffisamment saillants, croisillons, etc., ne manquent pas. Pour les essais, on utilisait simplement des munitions courantes (douilles saumon de la Société des munitions) et, au moyen d'une pince appropriée (*fig.* 1), on y pratiquait, à hauteur voulue, une gorge assez profonde pour former une saillie à l'intérieur. Quand il restait au-dessus de la poudre un vide notable, on le remplissait généralement avec un peu d'ouate (*fig.* 2).

Dans les essais qui suivent, les charges de plomb sont uniformément de 26^{gr} de plomb n° 6 dans le calibre 20, 30^{gr} dans le calibre 16 et 36^{gr} dans le calibre 12.

Résultats obtenus. — Utilisation des poudres très vives. — On peut, avec ce dernier mode de chargement, tirer dans des armes de chasse des poudres très vives dont l'emploi serait dangereux avec le chargement ordinaire, par exemple la poudre EF qui sert pour le tir à blanc du fusil modèle 1886.

Digitized by Google

CHARGE employée.	MODE DE CHARGEMENT.	NOMBRE de coups tirés.	VITESSES A 15m		PRESSIONS	
			moyennes.	écart moy.	moyennes.	maxima.
	Calibre 20.					
gr 1,0	Rondelle goudronnée arrêtée à 12mm au-dessus de la poudre. Vide rempli par 0gr,03 d'ouate.	20	m 231,9	m 4,2	487	558
1,4		20	278,0	4,9	750	855
1,2	Rondelle arrêtée à 10mm au-dessus de la poudre. Vide rempli par 0gr,03 d'ouate..	20	258,7	2,5	641	670
1,0	Rondelle arrêtée à 5mm au-dessus de la poudre. Vide rempli par 0gr,02 d'ouate.	10	234,9	3,0	546	596
1,2	Rondelle arrêtée à 10mm au-dessus de la poudre. Vide non rempli. Cartouches tirées dans les conditions les plus désavantageuses, renversées de façon que la poudre se trouve éloignée le plus possible de l'amorce.	10	242,7	5,5	557	589
1,0	Rondelle arrêtée à 5mm au-dessus de la poudre. Vide non rempli. Cartouches tirées dans les conditions les plus désavantageuses, renversées de façon que la poudre se trouve éloignée le plus possible de l'amorce.	10	231,3	3,2	517	558
	Calibre 16.					
1,4	Rondelle arrêtée à 10mm au-dessus de la poudre. Vide rempli par 0gr,03 d'ouate.	5	228,1	8,3	539	570
1,6		5	248,4	3,5	648	664
	Calibre 12.					
1,9	Mêmes conditions de tir.....	20	267,7	4,7	636	684

Toutefois la poudre EF, même dans ces conditions de tir, est encore un peu trop brisante : les tirs ci-après ont été exécutés avec une poudre un peu moins vive, quoique encore beaucoup trop brisante avec le chargement habituel des fusils de chasse, et préparée en vue du pistolet automatique Mauser : elle est du même genre, mais à grains bien plus fins que la poudre T avec laquelle on l'a comparée :

Digitized by Google

Calibre 12.

POUDRE essayée.	CHARGE employée.	MODE DE CHARGEMENT.	NOMBRE de coups tirés.	VITESSES A 15m		PRESSIONS	
				moyennes.	écart moy.	moyennes.	écart maximum avec la moyenne.
Poudre T.	gr. 2,4	Ordinaire, la rondelle goudronnée étant arrêtée immédiatement au-dessus de la poudre avec la machine à butée fixe.	10	m 265,1	m 3,9	333	kg 64
Poudre pour pistolet Mauser.	2,0	Rondelle arrêtée à 5mm au-dessus de la charge de poudre. Vide rempli avec 0gr,01 d'ouate.	10	252,8	4,1	281	40
	2,2		10	267,5	3,4	347	28
	2,4		10	277,4	3,1	371	56
	2,6		10	287,5	5,0	391	95

Avec 2gr,2 de cette dernière poudre, on obtient donc les mêmes résultats balistiques qu'avec 2gr,4 de poudre T chargée sans vide sur la poudre.

Amélioration du tir des poudres destinées à la chasse. — Mais il est inutile de recourir à des poudres vives, dont l'emploi courant entraînerait toujours quelques risques, pour mettre en relief les avantages du chargement à volume constant, qui apparaissent encore nettement avec les poudres destinées au tir de chasse proprement dit, comme le montrent les comparaisons ci-après, où tous les chiffres représentent des moyennes de 10 coups :

Digitized by Google

Poudres J n° 2.

Calibre 20.

Charge employée.	Chargement spécial. Mode de chargement.		Vitesses à 15m moyennes.	Vitesses à 15m écart moyen.	Pressions moyennes.	Pressions maxima.	Chargement ordinaire à la main. Vitesses à 15m moyennes.	Vitesses à 15m écart moyen.	Pressions moyennes.	Pressions maxima.
gr			m	m	kg	kg	m	m	kg	kg
2,60	Rondelle goudronnée arrêtée à 2mm au-dessus de la poudre.	Vide non rempli.	261,0	3,1	403	426	267,6	1,7	481	519
2,60		Vide rempli par 0gr,02 d'ouate.	266,3	2.8	427	452				
3,20			287,5	3,8	489	527	289,8	3,1	578	618
3,60	Rondelle goudronnée arrêtée à 5mm au-dessus de la poudre.	Vide rempli par 0gr,03 d'ouate.	304,9	2,3	570	589	311,7	2,0	700	730

Poudre de Rottweil.

Charge employée.	Chargement spécial. Mode de chargement.	Vitesses à 15m moyennes.	Vitesses à 15m écart moyen.	Pressions moyennes.	Pressions écart moyen.	Chargement avec la machine à butée fixe en arrêtant la rondelle goudronnée immédiatement au-dessus de la poudre. Vitesses à 15m moyennes.	Vitesses à 15m écart moyen.	Pressions moyennes	Pressions écart moyen
	Calibre 20.								
gr		m	m	kg	kg				
1,8	Rondelle arrêtée à 3mm au-dessus de la poudre. Vide rempli par 5mgr d'ouate.	260,3	6,9	449	28	268,3	4,7	498	41
1,8	Rondelle arrêtée à 5mm au-dessus de la poudre. Vide rempli par 7mgr d'ouate.	272,7	5,0	464	38				
	Calibre 12.								
2,4	Rondelle arrêtée à 3mm au-dessus de la poudre. Vide rempli par 0gr,02 d'ouate.	260,0	4,2	320	22	258,0	2,5	389	14

Digitized by Google

Poudre T.

Charge employée.	Chargement spécial. Vitesses à 15m moyennes.	Chargement spécial. Vitesses à 15m écart moyen.	Chargement spécial. Pressions moyennes.	Chargement spécial. Pressions écart maximum avec la moyenne.	Chargement à la machine à butée fixe. Vitesses à 15m moyennes.	Chargement à la machine à butée fixe. Vitesses à 15m écart moyen.	Chargement à la machine à butée fixe. Pressions moyennes	Chargement à la machine à butée fixe. Pressions écart maximum avec la moyenne.	Observations.
				Calibre 20.					
gr 1,4	m 251,3	m 3,1	kg 336	kg 35	m 258;6	m 3,2	kg 435	kg 34	Dans le *chargement spécial,* la rondelle goudronnée est arrêtée à 5mm au-dessus de la charge, le vide rempli par 0gr,01 d'ouate.
1,6	269,5	2,9	382	67	275,7	3.4	474	76	
1,8	282,8	2,9	433	62	288,6	2,4	528	94	
2,0	296,2	1,5	476	50	304,9	5,4	574	287	
				Calibre 16.					
1,8	249,5	3,1	289	26	255,7	1,9	366	79	Dans le *chargement à la machine à butée fixe,* la rondelle goudronnée est arrêtée immédiatement au-dessus de la charge.
2,0	265,0	1,9	363	48	271,2	3,9	428	50	
2,2	276,7	2,4	381	66	283,9	1,4	460	62	
2,4	287,5	3,2	456	58	295,8	1,5	521	53	
				Calibre 12.					
2,2	241,0	2,5	230	39	250,4	1,5	294	53	
2,4	256,9	2,0	276	35	264,6	4,6	332	45	
2,6	267,4	1,9	308	21	275,9	4,8	366	32	
2,8	284,2	3,4	366	42					

Le chargement spécial permet donc d'obtenir, au prix d'une légère augmentation de charge, des tirs toujours très réguliers avec des pressions plus faibles qu'avec le chargement à la machine à butée fixe; mais ce dernier chargement est lui-même préférable au chargement ordinaire, comme le montre la comparaison suivante :

Digitized by Google

POUDRE T.

CHARGE EMPLOYÉE.	CHARGEMENT A LA MACHINE A BUTÉE FIXE.				CHARGEMENT A LA MAIN.				OBSERVATIONS.
	Vitesses à 15m		Pressions		Vitesses à 15m		Pressions		
	moyennes.	écart moy.	moyennes.	maxima.	moyennes.	écart moy.	moyennes.	maxima.	
				Calibre 20.					Le *chargement à la machine à butée fixe* est fait comme plus haut. Dans le *chargement à la main*, on appuie fortement sur la poudre, à la façon ordinaire, les bourres et rondelles.
gr	m	m	kg	kg	m	m	kg	kg	
1,4	257,2	1,4	414	434	260,0	4,8	491	543	
1,6	273,7	2,0	464	527	277,1	2,9	524	618	
1,8	287,4	2,3	523	574	291,2	3,6	586	662	
				Calibre 12.					
2,2	252,7	2,5	285	343	258,5	4,8	336	398	
2,4	266,8	3,1	329	371	272,6	4,0	379	416	
2,6	276,3	3,2	377	390	282,4	3,1	425	469	

Le chargement à la main donne donc un tir moins régulier, et, s'il augmente les vitesses, il augmente surtout les pressions, particulièrement dans le calibre 20.

CONCLUSIONS. — En résumé, le chargement à volume constant permet d'utiliser pour la chasse des poudres très vives : simplement employé pour les poudres de vivacité appropriée au tir ordinaire de chasse, il régularise les effets obtenus et diminue les pressions; il se recommande particulièrement pour les poudres très compressibles, comme la poudre T.

Il est donc à souhaiter que l'on mette dans le commerce des munitions permettant de le réaliser commodément; faute de munitions spéciales, il est facile, avec l'outillage simple indiqué plus haut, d'y adapter les douilles ordinaires.

Digitized by Google

NOTE SUR UNE EXPLOSION

SURVENUE LE 12 MAI 1899

A UNE USINE DE PRODUITS CHIMIQUES

DE LA UNITED ALKALI COMPANY, LIMITED, SITUÉE A SAINT-HELENS.

EXTRAIT DU RAPPORT

du Colonel A. FORD, C. B.,

H. M. chief inspector of explosives.

La *United Alkali Company, Limited,* dont les bureaux sont installés à Liverpool, a été formée en 1890 par la réunion de la presque totalité des usines produisant la soude par le procédé Leblanc. En outre des produits sodés, elle fabrique de grandes quantités de chlorate de potasse, de chlorure de chaux et d'acide sulfurique. Elle possède à Saint-Helens cinq fabriques; c'est l'une d'elles, connue sous le nom de *Kurtz Works*, qui a fait explosion dans la matinée du 12 mai 1899. La *fig.* 1 donne la disposition des bâtiments où s'est produit l'accident.

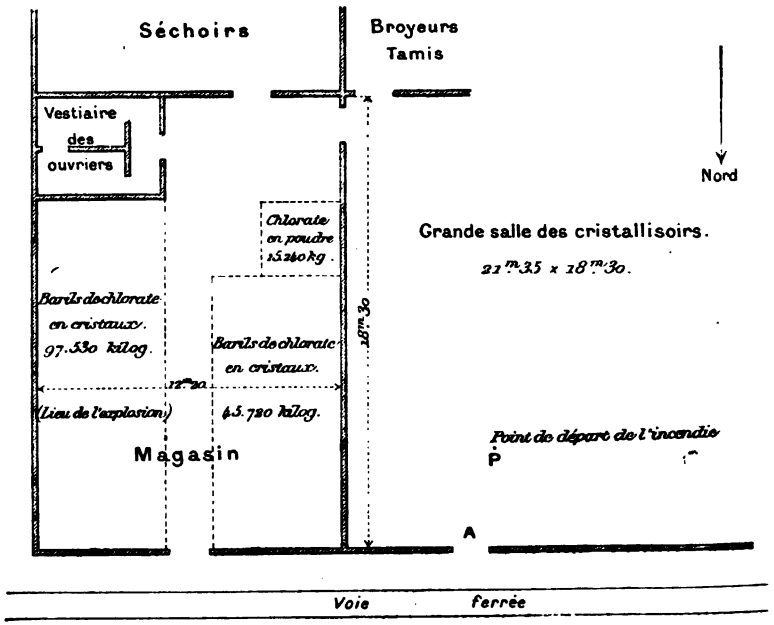
Les murs des bâtiments étaient en briques, les toits en ardoises; le sol était formé de briques posées sur une couche de sable de $0^{m},30$ environ, étendue sur un remblai de résidus provenant de la fabrication de la soude. Dans le magasin au chlorate de potasse, les barils contenant chacun 51^{kg} de chlorate étaient couchés et orientés de l'Est à l'Ouest dans la partie Est, et du Nord au Sud dans la partie Ouest. Ils étaient empilés carrément sur 6 ou 8 rangs dans la partie Est, laissant une hauteur libre de $2^{m},60$ jusqu'à l'entrait; dans la partie Ouest, la pile, plus large à la base qu'au sommet, était établie sur 13 rangs, avec $1^{m},50$ de hauteur

Digitized by Google

libre. La hauteur du faîtage au-dessus de l'entrait était d'environ 3^{m}.

Le 12 mai, vers $10^{h}15^{m}$ du matin, une machine attelée à un wagon chargé de barils vides stationnait devant la porte A du bâtiment des cristallisoirs. Les barils avaient contenu un chargement de chlorate de potasse en poudre qui avait été expédié antérieurement de l'usine Kurtz à une manufacture d'allumettes, et revenaient à l'usine pour être remplis de nouveau. C'étaient de gros barils en bois, avec cercles en bois maintenus par des clous

Fig. 1.



en fer : chacun d'eux pouvait contenir 254^{kg} de chlorate. Le conducteur de la machine était dans le wagon et passait les barils à un des tonneliers de la fabrique. Celui-ci venait de placer deux barils l'un près de l'autre, sur leur bouge, dans le passage entre les bassins de cristallisation. Ayant reçu un troisième baril, il le roula sur son arête et l'appuya sur le second des barils précédents, un bout sur le sol. Le poids fit avancer les deux premiers barils, et le troisième n'étant plus soutenu tomba sur son bouge, frottant dans sa chute contre le deuxième : le frottement produisit une

Digitized by Google

étincelle qui mit le feu au bois saturé de chlorate du bassin de cristallisation le plus proche, et l'incendie se communiqua immédiatement aux autres bassins.

Le tonnelier donna l'alarme et tous les ouvriers purent s'échapper sains et saufs du bâtiment.

Cependant l'incendie continuait à s'étendre malgré les efforts que l'on fit pour l'éteindre avec les moyens dont disposait l'usine; il gagna le toit du magasin, puis le rang supérieur des barils empilés du côté Ouest. Ceux-ci brûlèrent avec une vive clarté, jetant des flots d'une fumée blanche, épaisse. Les ouvriers, ainsi que plusieurs autres personnes, se tenaient auprès des bâtiments, sur les remblais de marcs de soude, suivant le progrès du feu, sans aucune appréhension du danger qu'ils couraient. On vit le feu gagner le pied des piles de barils du côté Ouest. Tout à coup, dix minutes environ après la première manifestation de l'incendie, une explosion, qui fut entendue à plusieurs milles, ébranla tout le pays. Des briques, des douelles, des morceaux de bois en partie brûlés furent projetés en l'air dans toutes les directions; les rues furent jonchées de débris de verre, d'ardoises, et les habitants effrayés sortirent de leurs maisons.

Deux spectateurs furent tués sur le coup : trois autres furent sérieusement blessés et succombèrent peu de temps après. Quarante à cinquante personnes furent soignées à l'hôpital, dont dix grièvement atteintes. D'autre part, bien des gens furent sauvés par miracle et même beaucoup de ceux qui se tenaient en spectateurs sur les remblais de résidus ne furent pas blessés.

L'étendue des ravages de l'explosion fut très grande et les dommages causés aux propriétés ne furent pas évalués à moins de 1 million de francs.

Les bâtiments construits sur remblais de marcs de soude furent détruits, à l'exception de la grande cheminée des générateurs qui resta debout, intacte au milieu des ruines.

A l'emplacement où se trouvaient les 97 000^{kg} de chlorate de potasse, il se produisit dans le sol une dépression de forme irrégulière dont la plus grande profondeur atteignait $0^{m},90$. Le sol était couvert de chlorate fondu ou non fondu, et de chlorure de potassium.

En outre des bâtiments construits sur remblais, une partie

Digitized by Google

d'une autre fabrique, appartenant à la même Compagnie, fut démolie. Les constructions qui étaient au niveau du sol échappèrent au désastre; mais douze grandes chambres de plomb à acide sulfurique, chacune de 30^{m} de long sur 6^{m} de large et 6^{m} de hauteur, exposées à toute la violence de l'explosion, furent brisées : des ruisseaux d'acide coulèrent sur le Warrington New Road, interrompant la circulation, et de là dans les égouts.

Un réservoir à gaz, situé à plus de 90^{m} du lieu de l'explosion, du côté opposé au Warrington New Road, aux trois quarts plein de gaz, fut crevé par l'explosion : le gaz, s'échappant à travers la déchirure qui s'était produite au sommet, s'enflamma au contact de débris en combustion et brûla tranquillement, produisant une colonne de feu dont la hauteur a été évaluée à 180^{m}.

Vingt et une maisons de Peaslay Cross sont devenues inhabitables, bien que le quartier fût entièrement protégé contre l'explosion par un vaste dépôt de résidus. Il est probable que les massives chambres de plomb, offrant une grande résistance aux vagues atmosphériques engendrées par l'explosion, ont, avant de s'effondrer, détourné ces vagues vers les maisons.

La destruction fut complète dans un rayon de 125^{m}. Les cheminées, fenêtres, portes, etc., furent endommagées dans Peaslay Cross, sur une surface de 10000^{mq}, dont le centre était à une distance de 200^{m} du lieu de l'explosion. Toutes les vitres furent brisées dans un rayon de 300^{m}; il y en eut de cassées à plus de 1200^{m}. Le choc fut distinctement ressenti à la Leigh Division, à 24^{km}, et le bruit fut entendu à Northwich (29^{km}), à Alderley Edge (40^{km}), à Oldham (43^{km}).

Causes de l'explosion. — L'incendie qui a déterminé l'explosion a été causé par le frottement de deux barils en bois l'un contre l'autre : le témoignage du tonnelier qui déchargeait le wagon ne laisse aucun doute sur ce point. L'étincelle, origine de l'incendie, a-t-elle été produite par le choc des clous en fer qui retenaient les cercles des barils? Est-elle due à la présence accidentelle sur le sol de résidus provenant du remblai sur lequel était édifiée cette partie de l'usine, le soufre contenu dans ces résidus formant avec le chlorate un mélange dangereux? N'est-il pas plus admissible que de la pâte phosphorée était restée adhérente à

Digitized by Google

l'un des barils renvoyés par la manufacture d'allumettes? L'enquête a démontré que de faibles parcelles de composition pour allumettes avaient été trouvées antérieurement sur des barillages renvoyés à l'usine pour être remplis de chlorate. Une maison qui s'occupe du commerce en grand et de l'exportation du chlorate de potasse a déclaré que l'on trouvait fréquemment de la composition pour allumettes sur les barillages, et qu'elle avait dû renoncer, pour ce motif, à recevoir les emballages vides envoyés dans ses magasins par les fabriques d'allumettes.

Il est évident, dans le cas actuel, que l'étincelle est due à la présence de la pâte phosphorée plutôt qu'au frottement de clous en fer, ou à l'action du chlorate sur le soufre des marcs de soude. Rappelons que ces résidus étaient recouverts d'un pied de sable et qu'il est peu probable qu'il en ait été apporté dans le bâtiment des cristallisoirs soit par les barils, soit par les chaussures des ouvriers.

Autant qu'il est possible de l'affirmer, aucune explosion proprement dite de chlorate de potasse n'a été relevée jusqu'à ce jour ni dans le Royaume-Uni, ni dans aucun autre pays.

Le chlorate de potasse est un corps stable à la température ordinaire, décomposable par la chaleur en chlorure, perchlorate et oxygène, et, si la température est plus élevée, en chlorure et oxygène. C'est un puissant agent d'oxydation, qui détone violemment par le choc ou l'élévation de température lorsqu'il est mélangé avec certains corps combustibles. Trituré dans un mortier avec de la fleur de soufre, il produit une série de crépitations; avec le sulfure d'antimoine, il prend feu parfois avec explosion. Une petite quantité de chlorate mélangée avec du phosphore détone par le choc.

La décomposition du chlorate de potasse par la chaleur en chlorure de potassium et oxygène est accompagnée d'un dégagement de chaleur, contrairement à beaucoup de décompositions chimiques qui absorbent de la chaleur. Ce dégagement doit naturellement contribuer à accroître l'énergie des mélanges explosifs contenant du chlorate.

Le chlorate de potasse n'était pas considéré jusqu'ici comme explosif. Cependant, le 12 juin 1884, à la station de Goole, une explosion se produisit dans un wagon chargé de 25 barils de chlorate de potasse, explosion légère qui amena la destruction entière du

Digitized by Google

contenu du wagon. Il est possible que du chlorate ait tamisé à travers les douelles d'un baril et se soit mélangé avec d'autres substances sur le plancher du wagon imparfaitement nettoyé. Quoi qu'il en soit, c'est le seul cas, dans nos archives, où il y ait quelque soupçon que le chlorate de potasse puisse faire explosion seul.

Étant données les propriétés de ce corps, il n'est pas étonnant que de nombreuses explications aient été mises en avant à propos de la présente explosion. Voici celles qui sont venues à notre connaissance :

1° La fumée dégagée par la combustion du bois du toit ou des barils peut avoir formé un mélange explosif avec l'oxygène dégagé par la décomposition du chlorate;

2° Le bois carbonisé peut avoir formé un mélange explosif avec l'oxygène dégagé du chlorate;

3° La fumée et le bois carbonisé peuvent avoir formé un mélange explosif avec l'oxygène dégagé du chlorate;

4° Le chlorate fondu peut avoir coulé jusqu'au remblai formé par les marcs de soude, sur lequel était construit le bâtiment, et avoir formé un explosif avec le sulfure de calcium ou le soufre de ces marcs. Cette explication est contredite par l'absence de cratère;

5° La solution de chlorate aurait, en suivant la pente du sol, coulé des bassins détruits en premier lieu dans le bâtiment des cristallisoirs, jusqu'au pied de la pile carrée dans le magasin, tandis que le chlorate des rangs supérieurs des barils se serait converti par la chaleur en chlorure, lequel, étant en fusion, aurait coulé jusqu'à la solution aqueuse et l'aurait transformée instantanément en vapeur;

6° La température du magasin en feu aurait atteint un degré assez élevé pour la décomposition soudaine du chlorate avec dégagement d'un volume considérable d'oxygène.

La dernière hypothèse paraît être la seule acceptable. Ainsi, le chlorate de potasse qui, soumis à l'action de la chaleur, même à une très haute température, se décompose peu à peu avec dégagement d'oxygène, finirait par dégager tout d'un coup son oxygène, c'est-à-dire par faire explosion lorsqu'il atteindrait une certaine température.

Digitized by Google

Pour nous édifier à ce sujet, nous avons fait de nombreuses expériences à Kurtz Works, et le Dr Dupré en a fait quelques-unes dans son laboratoire.

Voici l'une de ces expériences :

Dans une enceinte en briques de $2^{m},45$ de diamètre, on plaça au milieu de douelles de barils, qu'on saupoudra de 50^{kg} de chlorate, un baril contenant 50^{kg} de chlorate. On mit le feu. Il se dégagea d'abord des quantités considérables d'une fumée noire provenant de la combustion du bois; au bout de 2 minutes, le regard ne pouvait supporter l'éclat du feu : la fumée devint entièrement blanche; après 3 minutes $\frac{1}{2}$ l'éclat diminua, et au bout de 5 minutes il ne resta que du bois en combustion, tout le chlorate ayant été décomposé sans explosion.

Voici maintenant les expériences de laboratoire :

1° $6^{gr},5$ de chlorate chauffés rapidement dans une capsule mince de platine sur un bec Bunsen ont fondu, se sont décomposés avec une rapidité croissante, et la décomposition s'est achevée par un soufflement produit par un dégagement subit de gaz;

2° Même expérience en se servant d'un chalumeau ordinaire à gaz. Le soufflement a été plus nettement marqué;

3° Même expérience en se servant d'un chalumeau à oxyhydrogène. Soufflement encore plus marqué, mais point d'explosion. En renouvelant cet essai, la capsule de platine a fondu sous l'action de la chaleur;

4° Même expérience en employant l'argile au lieu de platine; une flamme puissante oxyhydrique a été dirigée sur la matière fondue sans résultat satisfaisant.

L'insuccès de ces expériences nous a alors conduit à chercher une autre explication de l'accident de Saint-Helens, et des essais furent entrepris pour reconnaître l'aptitude du chlorate à la détonation :

1° 30^{gr} environ de chlorate en poudre furent placés dans un cylindre de plomb avec bourrage de sable fin. Détonateur n° 8. On n'observa aucun élargissement du trou du cylindre;

2° Même expérience, le détonateur n° 8 étant entouré de trois détonateurs n° 3. Aucun évasement appréciable du trou. A l'exa-

Digitized by Google

men le résidu fut reconnu pour du chlorate non décomposé;

3° Même expérience, le détonateur n° 8 étant entouré de 7^{gr} de gélignite. L'élargissement du trou correspondit à l'effet de la gélignite seule et le résidu fut encore du chlorate non décomposé;

4° On laissa tomber un détonateur n° 8 dans 450^{gr} de chlorate fondu dans un creuset; l'effet ne fut pour ainsi dire pas plus grand que si le détonateur avait fait explosion dans un creuset semblable plein d'eau;

5° On fit détoner un détonateur n° 8 dans un mélange de 70^{gr} en proportions convenables de sucre et de chlorate : par-dessus on avait mis 1^{kg},350 de chlorate. Même résultat à peu près que si les 1^{kg},350 de chlorate avaient été remplacés par le même poids d'argile fine.

6° Même expérience avec 70^{gr} d'un mélange de sulfure de carbone et de chlorate. Même effet, que l'on prenne pour bourrage du chlorate ou de l'argile.

7° Même expérience sur un mélange de 150^{gr} d'acétone et de chlorate. L'effet a été si peu marqué que l'on n'a pas jugé utile de faire la comparaison avec l'argile;

8° On fit partir un détonateur n° 8 dans 115^{gr} de chlorate placés dans un cylindre de plomb. Point d'autre effet que de comprimer le chlorate.

Toutes ces expériences ont été faites avec le plus grand soin, et leur résultat négatif nous oblige à rejeter, comme explication de l'accident de Saint-Helens, la détonation du chlorate de potasse provoquée par une explosion initiale quelconque.

Nous nous trouvions dès lors amené à reprendre l'hypothèse, momentanément écartée, d'une explosion par suite d'une élévation extrême, anormale, de la température. On avait constaté nettement un soufflement lorsqu'on chauffait dans une capsule 6^{gr},5 de chlorate, mais le soufflement n'était pas suffisamment fort pour conclure à la possibilité d'une explosion. En employant de plus faibles quantités, les résultats furent tout différents. Si, par exemple, on fixe un peu de chlorate de potasse sur un fil fin de platine formant boucle, et qu'on le tienne dans une flamme telle que la partie bleue de la flamme du gaz ordinaire, on percevra très distinctement une explosion, aussi distinctement que si l'on avait

Digitized by Google

employé une quantité égale de poudre noire. Le résultat ne dépend que de la rapidité avec laquelle la chaleur est appliquée. Si le chlorate est chauffé lentement, il se décompose avec un dégagement plus ou moins rapide d'oxygène, sans explosion. Mais si la chaleur est appliquée très rapidement, on peut atteindre, avant la décomposition totale du chlorate, une température telle que le reste fasse explosion avec violence. La rapidité nécessaire n'est pas obtenue aisément quand on chauffe le chlorate dans un creuset, tandis qu'une faible quantité fixée à un fil mince de platine manque rarement de faire explosion lorsqu'on la présente à la flamme du gaz.

En définitive, on voit que le chlorate de potasse peut faire explosion dans certaines conditions.

Conclusion. — En présence de ces résultats, il n'est pas douteux qu'il y a eu explosion d'une partie du chlorate dans l'accident de Saint-Helens. Cette partie aurait atteint très promptement la température requise pour faire explosion, grâce à la chaleur intense produite par la combustion des barils en présence du chlorate.

Il est intéressant de rechercher quelle quantité de chlorate a fait explosion. Le chlorate de potasse décomposé subitement dégage, à la température de décomposition, à peu près la même quantité de gaz qu'un poids égal de poudre. En comparant les effets produits à Saint-Helens à ceux que produit une explosion de poudre noire, nous trouvons que, selon toute probabilité, 5000^{kg} à 6000^{kg} seulement de chlorate ont fait explosion, c'est-à-dire une très faible portion des 158 000^{kg} qui étaient contenus dans le magasin. Le reste a été ou décomposé, ou fondu par la chaleur, ou projeté dans toutes les directions par la force même de l'explosion.

Digitized by Google

SUR

L'EXPLOSION DU CHLORATE DE POTASSE;

PAR

M. BERTHELOT,

Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences,
Membre de l'Académie française,
Président de la Commission des substances explosives.

Le chlorate de potasse est un composé endothermique, à partir de l'oxygène et du chlorure de potassium, car la transformation inverse

$$ClO^3K = KCl + O^3 \text{ dégage} \ldots\ldots - 11^{Cal},9$$

en développant $33^{lit},5$ d'oxygène; soit pour 1^{gr} : 97^{cal} et 273^{cc}.

Cependant le chlorate de potasse n'est pas classé ordinairement parmi les corps explosifs. Il ne détone pas sous l'influence d'un échauffement progressif, bien qu'il se décompose avec une vitesse et une élévation de température qui peut aller jusqu'à l'incandescence, lorsqu'on opère dans une petite cornue chauffée à feu nu et contenant une centaine de grammes, ou davantage.

J'ai reconnu qu'on peut le faire détoner sous la pression ordinaire, en vase ouvert et dans un gaz inerte, en opérant conformément à une méthode, ou plutôt à un principe que j'ai signalé il y a longtemps, comme applicable en général aux réactions des systèmes exothermiques : je dis aux réactions qui conservent leur signe et leur valeur approchée lorsqu'on élève la température du système. Il suffit de placer ce dernier brusquement *dans une enceinte portée à l'avance et maintenue à une température beaucoup plus élevée que celle de la décomposition commençante.* Il faut d'ailleurs que la masse de la matière qui constitue cette enceinte soit assez considérable pour que l'introduction de la quantité de matière décomposable (supposée introduite en la prenant à la température ordinaire) soit trop faible pour abaisser sensiblement la température générale du milieu.

Digitized by Google

J'ai montré (¹) comment on peut faire détoner ainsi l'acide picrique, composé qui brûle cependant tranquillement lorsqu'on le fait fondre dans une capsule chauffée sur un bec de gaz et qu'on l'enflamme au contact de l'air.

Or la même expérience, c'est-à-dire l'explosion, réussit avec le chlorate de potasse. Pour la réaliser, il suffit de prendre un tube en verre, fermé par un bout, d'un diamètre de 25^{mm} à 30^{mm}; on le fixe à l'aide d'un support convenable et on l'échauffe presque verticalement, en le maintenant enveloppé par la flamme d'un gros bec de gaz, sur une longueur de 50^{mm} à 60^{mm}, jusqu'à ce que le fond du tube et cette longueur du tube aient été portés à la température du rouge visible, sans cependant fondre le tube.

D'autre part, on a disposé à l'avance l'extrémité, amincie en forme de gros fil, d'une baguette de verre; on l'a trempée ensuite, à plusieurs reprises, dans une masse de chlorate de potasse pur, fondue au préalable dans une capsule de porcelaine; puis on l'a laissée refroidir jusqu'à ce qu'elle commence à se solidifier. On opère de façon à accumuler quelques décigrammes du sel solidifié sur l'extrémité de ce fil de verre, en paquet ovoïde.

Quand le tube de verre est bien rougi, on saisit la baguette de verre et on l'introduit dans le tube, en rapprochant le chlorate de potasse du fond, à 10^{mm} environ, avec la précaution qu'il ne touche le tube en aucun point. Au bout de quelques instants, ce chlorate de potasse se liquéfie sous l'influence du rayonnement des parois du tube et de la flamme enveloppante, et il s'écoule goutte à goutte, lentement, en tombant sur le fond du tube maintenu au rouge. Chaque goutte fait explosion, à l'instant où elle arrive au contact du verre, avec un bruit très net et une fumée blanche, formée de poussière et de vapeur de chlorure de potassium. Mais l'explosion ne se propage pas à la portion de sel liquide qui est demeurée à la surface du fil de verre. Le bruit de l'explosion est net, brusque, quoiqu'un peu prolongé, à la façon de celui d'une poudre lente.

Cette expérience est facile à réaliser. Elle est la même que celle de la détonation de l'acide picrique. L'une et l'autre s'exécutent au sein d'un gaz inerte; car je l'ai faite dans l'azote avec l'acide

(¹) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 6ᵉ série, t. XVI, p. 23; 1889.

Digitized by Google

picrique, et la détonation du chlorate de potasse a lieu au sein de l'air, dans les conditions que je viens de décrire.

L'acide picrique détone encore mieux, si l'on opère dans l'air ou dans l'oxygène, comme on devait s'y attendre, parce que la chaleur de sa combustion totale s'ajoute à celle de sa décomposition pyrogénée.

Le chlorate de potasse détone également mieux, si on le chauffe dans une flamme hydrocarbonée, son oxygène se combinant en partie avec le carbone et l'hydrogène, en donnant lieu à un nouveau dégagement de chaleur : cette observation est citée dans un rapport récent et fort intéressant du colonel Ford, inspecteur en chef des explosifs, rapport relatif à une explosion survenue en 1899, en Angleterre, dans une fabrique de chlorate de potasse. Mais cette dernière observation ne suffirait oas à prouver que le chlorate de potasse pur soit explosif *par lui-même et sans l'intervention d'aucun corps combustible*. La présence de ce dernier, même en petite quantité, concourt à déterminer d'une manière plus prompte et plus facile l'explosion du chlorate lui-même.

C'est ici le lieu de faire observer que les conditions précises des expériences que je viens de rappeler sur l'acide picrique et sur le chlorate de potasse sont susceptibles, à la rigueur, d'être réalisées dans un grand incendie affectant le toit ou les parois d'un magasin renfermant une masse considérable d'acide picrique, ou de chlorate de potasse. Je citerai comme exemple l'explosion récente, mentionnée plus haut, de 156 tonnes de chlorate de potasse embarillé dans des tonneaux de bois, à la fabrique nommée *Kurtz Chemical Works* de la *United Alkali C° Ld,* au bourg de Saint-Helens (Londres). Cette explosion a tué 5 hommes, en a blessé 40 à 50, et elle a amené des destructions de bâtiments considérables. Elle paraît avoir réalisé sur une grande échelle les circonstances que je décris ici. L'explosion du chlorate de potasse a été d'ailleurs facilitée, dans ce cas, par la combustion du bois des tonneaux, comme elle l'est par la flamme d'un gaz combustible.

On pourrait citer également des exemples, intermédiaires en quelque sorte, de l'exaltation des propriétés explosives, produite par des circonstances analogues. Tel est le cas de la dynamite : répandue sur une table, en couche mince, elle brûle à peu près sans danger. Mais il en est autrement si l'on enflamme une masse

Digitized by Google

un peu considérable de dynamite, et surtout si on l'échauffe avec le concours d'un bourrage préalable, même sans détonateur.

Ces phénomènes doivent être également rapprochés de la détonation de l'acétylène, laquelle n'a pas lieu par simple échauffement sous la pression atmosphérique, à l'air libre; mais elle se produit dès que la condensation du gaz, sous des pressions doubles ou davantage, permet à la température développée par la décomposition provoquée sur un point, — sans être abaissée à mesure par mélange, convection, conductibilité, ou rayonnement, — de s'élever toujours davantage.

Dans les cas de ce genre, la température croissant, sans que son accroissement soit limité par dissociation ou changement d'état physique, la vitesse de la réaction, combinaison ou décomposition, croît de son côté, suivant une loi que j'ai reconnue, comme une fonction exponentielle de la température. Il y a là certaines propriétés générales des corps explosifs, qui entrent en jeu avec une facilité inégale, suivant leur nature individuelle, mais qu'il est nécessaire de ne jamais oublier dans leur emploi industriel ou militaire.

Digitized by Google

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE LA COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES PENDANT L'ANNÉE 1899 (1).

RAPPORT SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS EN 1899.

Ce rapport, établi conformément à l'article 4 du décret constituant la Commission des substances explosives, comprend les objets suivants :

1° *Analyse des rapports adressés au Ministre pendant l'année* 1899;

2° *Revue des travaux effectués pendant la même année.*

I. — Analyse des rapports établis pendant l'année 1899.

RAPPORT N° 128. — *Sur l'examen de cinq nouveaux types d'explosifs présentés par la Société française des explosifs.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. LHEURE.)

Par dépêche en date du 6 août 1898, le Ministre de la guerre a soumis à l'examen de la Commission des substances explosives une demande formulée par la Société française des explosifs,

(1) Voir **1** 432, **2** 573, **3** 171, **4** 205, **5** 68, **6** 211, **7** 139, **8** 60, **9** 118 et **10** 17 les *Comptes rendus* des travaux exécutés de 1878 à 1899.

Digitized by Google

en vue d'être autorisée à faire fabriquer par les poudreries de l'État les explosifs suivants :

A	Nitrate d'ammoniaque.....	95	100
	Résine.....	5	
B	Nitrate d'ammoniaque.....	90,0	100
	Nitrate de potasse.....	4,5	
	Résine.....	5,5	
C	Nitrate d'ammoniaque.....	90	100
	Résine.....	5	
	Bichromate de potasse.....	5	
D	Nitrate d'ammoniaque.....	92,9	100
	Naphtaline.....	4,5	
	Bichromate de potasse.....	2,6	
E	Nitrate d'ammoniaque.....	90	100
	Binitrobenzine.....	10	

Le Ministre demandait l'avis de la Commission sur la question de savoir si ces explosifs présentaient un intérêt suffisant pour justifier leur fabrication par l'État et si, d'autre part, ils pouvaient être classés comme explosifs de sûreté au point de vue des transports par chemins de fer.

Tous les échantillons ont été essayés par la Commission par le procédé en usage pour la vérification des cartouches de mine du type P au coton-poudre et nitrate d'ammoniaque. Ce procédé consistait à faire détoner sous terre un certain nombre de cartouches placées bout à bout au fond d'un trou vertical foré à la barre à mine, soit dans le terrain ordinaire, soit dans un bloc de pierre de taille.

Les échantillons A, B, C, D n'ont jamais, dans l'un ou l'autre cas, donné de résultat appréciable. Une faible partie de la cartouche amorcée paraissait seule participer à la détonation.

L'échantillon E a toujours détoné complètement et ses effets ont été nettement supérieurs à ceux de l'explosif du type P.

L'échantillon E était donc le seul qui pût présenter quelque intérêt comme explosif. Mais sa fabrication entraînerait de sérieux inconvénients, à cause de la binitrobenzine qu'il renferme : des essais de fabrication de poudres contenant cette matière, tentés en 1891 à la poudrerie de Sevran, ont dû être suspendus à cause des maladies qui en résultaient pour le personnel ouvrier.

Digitized by Google

En conséquence, la Commission a été d'avis qu'aucun des explosifs A, B, C, D, E, présentés par la Société des explosifs, n'offrait un intérêt suffisant pour justifier sa fabrication par les poudreries de l'État, les quatre premiers n'étant pas, à proprement parler, des explosifs, et le cinquième ne pouvant être fabriqué sans qu'il en résulte des inconvénients graves pour la santé des ouvriers.

Rapport n° 129. — *Sur les dangers de transport du celluloïd, à bord des paquebots-poste.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. Liouville.)

Par dépêche du 19 décembre 1898, le Ministre de la guerre a transmis à la Commission des substances explosives une demande du Ministre du commerce tendant, selon un avis émis par le Comité des arts et manufactures, à faire effectuer des essais de résistance à la chaleur sur les diverses sortes de celluloïd que l'on rencontre dans le commerce, en vue d'apprécier si leur transport à bord des paquebots-poste présente de véritables dangers.

En adressant à la Commission le rapport établi par le Comité des arts et manufactures, au sujet de ces transports, le Ministre de la guerre la priait d'étudier la question et de lui faire connaître son opinion sur les dangers signalés par la Compagnie générale transatlantique.

Par l'intermédiaire de M. le Président de la Chambre syndicale de la tabletterie, à laquelle ressortent les fabriques d'objets en celluloïd, la Commission s'est procuré cinq échantillons de celluloïd, représentant les principales sortes ordinairement employées par l'industrie. Elle a soumis ces échantillons, soit sous forme de morceaux épais, soit sous forme de râpures, à des chauffages à l'étuve, dans les conditions usitées pour l'étude des poudres sans fumée.

Les chauffages ont été faits aux températures de 100°, 75°, 60° et 40°, et l'examen des résultats obtenus a montré que la résistance de la plupart des celluloïd commerciaux est très faible aux diverses températures. Un seul échantillon, le n° 5, a présenté une stabilité convenable, voisine de celle que possèdent les poudres sans fumée de bonne fabrication.

Digitized by Google

La Commission a pensé que l'admission aux transports maritimes par colis postaux ne pouvait être accordée qu'à des échantillons analogues à l'échantillon n° 5; elle a donc cherché à recueillir, auprès de M. le Président de la Chambre syndicale de la tabletterie, tous les renseignements concernant la composition et le mode de fabrication des celluloïd qu'elle avait expérimentés, afin de pouvoir distinguer des autres, d'une façon précise, les échantillons analogues à l'échantillon n° 5. Malheureusement, le Président de la Chambre syndicale n'a pu fournir aucune des données demandées et a fait connaître qu'il regardait comme impossible de les obtenir des divers fabricants de celluloïd. Une demande analogue, adressée par la Commission aux fabriques d'Oyonnax, qui avaient soulevé l'une des questions relatives au transport du celluloïd, n'a obtenu aucune réponse.

Avant d'indiquer les conclusions auxquelles elle est parvenue, la Commission a fait remarquer que les celluloïd sont des matières de compositions et de propriétés très diverses; que quelques-uns se sont comportés, dans certaines circonstances, comme des explosifs puissants et ont donné lieu déjà, en fabrication, à des accidents graves et que, d'autre part, la plupart des échantillons qui lui ont été soumis étaient d'une fabrication si défectueuse qu'il eût paru fort dangereux de les exposer, pendant un temps notable, aux températures élevées qui peuvent se rencontrer au cours des transports maritimes.

Dans ces conditions et ne pouvant indiquer les caractères des échantillons satisfaisants, de manière à permettre un classement que les différences constatées montraient indispensable, la Commission s'est vue dans la nécessité de conclure que le transport des objets en celluloïd à bord des paquebots-poste présenterait des inconvénients et, bien qu'aucun accident grave attribué au transport de ces produits n'ait encore été signalé, elle a estimé qu'il conviendrait d'exclure, d'une façon générale, les objets en celluloïd des transports maritimes par colis postaux.

RAPPORT N° 130.—*Sur l'examen d'une demande de M. Vilain, fabricant d'amorces pour jouets d'enfants.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. LHEURE.)

Par dépêche du 12 janvier 1899, le Ministre de la guerre a

Digitized by Google

chargé la Commission des substances explosives de lui faire connaître son avis sur la possibilité de classer en 4e catégorie, comme munitions de sûreté, les amorces-papier fabriquées par M. Vilain.

Ces amorces, d'après les renseignements fournis à la Commission par le fabricant, contiennent une composition fulminante formée d'un mélange de chlorate de potasse, salpêtre, soufre, sulfure d'antimoine, phosphore amorphe et gomme, dans des proportions qu'il a également fait connaître.

Les amorces soumises à l'examen de la Commission étaient de deux sortes, ne différant que par la quantité de matière fulminante qu'elles renfermaient. Les plus petites portent, sur les boîtes, la désignation *amorces doubles,* mais le fabricant les appelle *amorces ordinaires*. Les plus grosses sont appelées *cartouches amorces*. Le papier de ces amorces a été reconnu difficilement combustible.

Les amorces mises à la disposition de la Commission étaient renfermées dans des boîtes contenant 50, 100 ou 200 amorces. Dans toutes ces boîtes, le vide laissé par les amorces était d'au moins la moitié de la boîte. Les boîtes étaient réunies en rouleaux de 12 boîtes, et 12 rouleaux étaient paquetés ensemble dans un fort papier gris; ce paquet contenait ainsi une grosse de boîtes. Les paquets étaient emballés dans des caisses jointives, en bois, de dimensions légèrement variables, suivant la nature des amorces qu'elles renfermaient, mais ces dimensions s'écartaient peu de $0^m,40 \times 0^m,35 \times 0^m,20$, et la quantité totale de matière explosive renfermée par caisse pouvait varier, suivant le cas, de 500^{gr} à 800^{gr}.

Une des caisses reçues par la Commission était garnie intérieurement d'un caisson en zinc, mais ce dernier mode d'emballage avec double enveloppe est employé seulement pour les expéditions lointaines.

La Commission a fait subir à ces amorces les épreuves d'inflammation et de chocs aux diverses températures, et les résultats obtenus ont été les suivants :

1° Dans les épreuves faites à la température ordinaire, on n'a jamais obtenu la détonation en masse des amorces. Les chocs violents, le détonateur au fulminate de mercure n'ont provoqué l'explosion que d'une proportion insignifiante d'amorces, et, dans

Digitized by Google

l'épreuve d'inflammation par incendie, les amorces ont brûlé lentement, avec de faibles décrépitations;

2° Dans les épreuves faites après chauffage des munitions pendant huit heures à 100°, on n'a obtenu de détonation que par les chocs d'un mouton cylindrique de 286 kilogrammes tombant de $5^m,15$ de hauteur. La détonation des amorces soumises au choc direct du mouton a été complète, mais cette détonation a été sans effet sur des amorces placées au contact immédiat.

Les autres épreuves (choc d'une balle de fusil, détonation d'une amorce au fulminate de mercure, etc.) n'ont pas entraîné la détonation des amorces. On a retrouvé presque toujours dans les boîtes un mélange d'amorces brûlées et d'amorces intactes, et la combustion dans un foyer s'est opérée très lentement, sans autre phénomène que de légères décrépitations.

En résumé, ces amorces se sont comportées, dans les diverses épreuves, de la même façon que les amorces en poudre n° 3 en boîtes de carton essayées, en 1884, par la Commission; pour ces deux sortes d'amorces, on n'a obtenu de détonation que par un choc violent après chauffage de quarante-huit heures à 100°, et la détonation a été limitée aux amorces directement frappées par le mouton.

En conséquence, la Commission a été d'avis que les amorces-papier fabriquées par M. Vilain peuvent, de même que les amorces n° 3, être classées en 4e catégorie comme munitions de sûreté, sous la réserve que ces amorces seront semblables à celles qui ont servi aux essais et dont le type est déposé au Laboratoire central des poudres et salpêtres.

Rapport n° 131. — *Sur l'examen d'une demande d'autorisation pour la fabrication d'un nouveau type de dynamite.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. Lheure.)

Par dépêche du 7 février 1899, le Ministre de la guerre a soumis à l'examen de la Commission des substances explosives une demande, formulée par la Société générale pour la fabrication de la dynamite, à l'effet d'obtenir l'autorisation de fabriquer, dans

Digitized by Google

ses usines d'Ablon et de Paulilles, un nouveau type de dynamite présentant la composition suivante :

Nitroglycérine.....	de 93 à 93,5 parties,
Coton azotique.....	de 7 à 6,5 parties.

Une demande analogue, faite en 1898, pour une dynamite au dosage de 94 pour 100 nitroglycérine et 6 pour 100 coton azotique, avait été refusée à la suite d'un avis défavorable de la Commission des substances explosives.

Le nouveau type de dynamite-gomme ne différant de la dynamite-gomme ordinaire, dont la fabrication est autorisée en France, que par la diminution du taux de coton azotique (6,5 à 7 pour 100 au lieu de 8 pour 100) et offrant, par conséquent, les garanties voulues au point de vue de la pureté des matières premières, la Commission n'avait, par suite, qu'à rechercher s'il présentait des garanties suffisantes au point de vue de l'exsudation.

Les essais de la Commission ont été effectués sur trois échantillons portant les désignations suivantes :

Blasting gélatine n° 1....	Ablon, fabrication de janvier 1899,
» n° 2....	» » »
Gomme supérieure AA...	Paulilles, fabrication de février 1899.

Les deux premières gommes étaient molles et collantes, la dernière était plus dure.

On a soumis les différents échantillons aux épreuves d'exsudation sous pression à la température ordinaire et à 50° et aux épreuves de gel et de dégel, comparativement avec une gomme type, au dosage de 92/8, prise dans les approvisionnements et provenant de la fabrication courante de l'usine d'Ablon.

Les trois échantillons de dynamite-gomme préparés par la Société générale pour la fabrication de la dynamite, dans ses usines d'Ablon et de Paulilles, ayant donné aux différentes épreuves une résistance à l'exsudation bien inférieure à celle du type et n'ayant pas satisfait à l'épreuve de gel et de dégel, réglementaire en Angleterre, la Commission a été d'avis qu'il n'y aurait aucun intérêt à en autoriser la fabrication.

Toutefois, la Commission a reconnu que l'on fabrique à l'étran-

Digitized by Google

ger des dynamites-gommes au dosage de 93,5/6,5 et que la mauvaise qualité des échantillons qui lui ont été soumis tient peut-être à ce que l'on n'aurait pas choisi, parmi les différents cotons azotiques fournis par l'État, celui qui convient à ce dosage.

RAPPORT N° 132. — *Sur l'examen d'une demande formée par la Société française des explosifs.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur : M. LHEURE.)

Par dépêche du 22 août 1899, le Ministre de la guerre a soumis à l'examen de la Commission des substances explosives une demande de la Société française des explosifs, tendant à obtenir l'autorisation de fabriquer, dans son usine de Cugny, deux nouveaux types de dynamite dénommés *gommes de sûreté* NP *et* NS et dont les dosages sont les suivants :

Gomme NP	Nitroglycérine.....	25	100
	Coton azotique soluble..	1	
	Nitrate d'ammoniaque...	64	
	Nitrate de potasse.....	10	
Gomme NS	Nitroglycérine.....	25	100
	Coton azotique soluble ..	1	
	Nitrate d'ammoniaque..	64	
	Nitrate de soude.....	10	

Le Ministre invitait la Commission à lui faire connaître son avis sur la suite dont cette demande était susceptible.

Les deux explosifs NP et NS rentrent dans la catégorie des dynamites gélatinées dont la fabrication a pu être autorisée depuis longtemps, tant en France qu'à l'étranger, sans inconvénient pour la sécurité publique. Toutefois, cette innocuité est liée, d'une part, au degré de purification des matières premières et, d'autre part, aux propriétés physiques du produit final, qui doit présenter une résistance suffisante à l'exsudation.

En ce qui concerne la purification des matières premières, le contrôle exercé par l'agent des poudres et salpêtres attaché à l'usine de Cugny et les épreuves réglementaires auxquelles sont soumis les cotons azotiques fournis par l'État, par application de la loi du monopole, constituent des garanties suffisantes.

En ce qui concerne la résistance à l'exsudation, la Commis-

Digitized by Google

sion a fait exécuter, sur les échantillons qui lui ont été soumis, les expériences ordinaires sur l'influence de l'humidité et des élévations de température, tout en vérifiant si, pendant ces épreuves, il ne se produisait pas d'altération nitreuse sensible des produits.

Les deux dynamites soumises aux essais contenant des sels hygrométriques, et l'Administration exigeant pour ces explosifs des cartouches étanches, les essais sur l'influence de l'humidité ont été exécutés sur des cartouches munies de leurs enveloppes, comparativement à des cartouches de gomme J provenant de l'usine de Cugny.

Au bout de quarante-deux jours d'exposition dans une caisse dont l'atmosphère était maintenue sensiblement saturée à la température ordinaire, les cartouches des nouveaux types étaient complètement mouillées, les papiers entr'ouverts, avec séparation nette de nitroglycérine, et il ne restait dans chaque cartouche que le tiers à peine de l'explosif. De plus, elles ont donné une légère réaction acide au papier de tournesol.

Les essais sur l'influence de la chaleur, exécutés sur des cartouches dépourvues de leurs enveloppes, n'ont pas donné de résultats sensiblement différents de ceux obtenus sur la gomme J type. Les dynamites n'ont pas subi une altération nitreuse appréciable après avoir supporté, pendant dix-sept jours, un chauffage continu de jour et de nuit dans une étuve à thermorégulateur réglée à 35°.

A la suite de ces expériences, la Commission a conclu que la fabrication des dynamites NP et NS pouvait être autorisée, sous la condition ordinaire que les matières employées ne présentent aucun caractère d'acidité; elle a pensé, en outre, qu'étant donnée la tendance à l'exsudation constatée plus haut, il était nécessaire d'exiger, pour les deux dynamites en question, un encartouchage étanche très soigné; celui des échantillons examinés n'eût pas été suffisant pour assurer la conservation des cartouches pendant un an.

II. — Revue des travaux effectués pendant l'année 1899.

Parmi les études en cours d'exécution pendant l'année 1899, certaines sont maintenant terminées à la suite des rapports adres-

Digitized by Google

sés au Ministre pendant ladite année. Le Tableau suivant en donne le numéro d'ordre, le titre et le numéro du rapport, analysé plus haut, qui les concerne.

Numéro d'ordre.	Titre de l'étude.	Numéro du rapport établi.
136	Fabrication, par les poudreries de l'État, de cinq nouveaux types d'explosifs.....	128
137	Examen d'une demande d'autorisation pour la fabrication d'un nouveau type de dynamite.....	131
139	Dangers de transport du celluloïd, à bord des paquebots-poste.....	129
140	Examen d'une demande de M. Vilain, fabricant d'amorces pour jouets d'enfants.....	130

L'étude n° 143, quoique ayant donné lieu à l'établissement du rapport n° 132, reste ouverte, en vertu d'une dépêche ministérielle faisant connaître que de nouveaux échantillons de dynamites NP et NS, mieux encartouchées que les précédentes, ont été demandés à la Société française des explosifs, pour servir à de nouveaux essais de la Commission.

L'étude n° 147, relative à une demande de MM. Gossiôme et Bachelet, tendant à faire classer en 4e catégorie, comme munitions de sûreté, des amorces en papier pour jouets d'enfants, est close sans avoir donné lieu à l'établissement d'un rapport de la Commission. MM. Gossiôme et Bachelet ayant déclaré que les amorces qu'ils expédient sont celles de M. Vilain, pour lesquelles l'autorisation de transport a déjà été accordée, la Commission a fait connaître au Ministre qu'il lui semblait inutile d'entreprendre de nouveaux essais sur ces amorces et qu'il suffirait à MM. Gossiôme et Bachelet de justifier, auprès des Compagnies de chemins de fer, de la provenance des amorces qu'ils demandaient à faire transporter, pour jouir des facilités accordées à M. Vilain.

La Commission n'a pas eu l'occasion, au cours de l'année 1899, de recueillir de nouvelles données concernant les études générales sur la sensibilité, l'amorçage et la vitesse de propagation de la détonation dans les explosifs, non plus que sur certaines études particulières restant en cours.

Néanmoins, en ce qui concerne l'étude n° 141 (projet de modification du décret du 26 janvier 1887, relatif aux munitions de

Digitized by Google

sûreté), ses recherches sont très avancées et un projet de rapport a déjà été discuté; le rapport définitif de la Commission sera prochainement adopté.

L'étude n° 142 (examen d'un nouvel explosif, dit *Prométhée*, présenté par M. Larrüe) a été l'objet d'un rapport adressé au Ministre et qui sera analysé dans le prochain Compte rendu.

Il en est de même pour l'étude n° 148 (réclamation contre l'emploi du Rackarock en Nouvelle-Calédonie).

L'étude n° 149 (étude de la fabrication des explosifs chlorates Street, nos 41 et 60) est également terminée, et le rapport de la Commission à son sujet a été adopté dans la séance du 8 mars 1900.

Enfin, pour plusieurs autres études, les recherches continuent et les rapports sur ces études pourront sans doute être établis à bref délai.

ANNEXE.

CHANGEMENTS SURVENUS DANS LE PERSONNEL DE LA COMMISSION PENDANT L'ANNÉE 1899.

Au 1er janvier 1899, la Commission des substances explosives était composée comme il est indiqué page 30.

Par décision du Ministre de la guerre, en date du 18 janvier 1899, M. le capitaine Ducru, chef du Laboratoire de chimie à la section technique de l'artillerie, a été nommé membre adjoint et temporaire de la Commission des substances explosives.

Par décision du Ministre de la guerre, en date du 31 janvier, M. le sous-ingénieur Lheure, attaché à la poudrerie nationale de Sevran-Livry, a été nommé membre adjoint et temporaire de la Commission, en remplacement de M. l'ingénieur Biju-Duval, appelé à d'autres fonctions.

Par décision du Ministre de la guerre, en date du 6 avril, M. le général Ricq, commandant l'artillerie du 2e corps d'armée, a été nommé membre permanent de la Commission, en remplacement de M. le général Castan, placé dans la 2e section du cadre de l'état-major général de l'armée.

Par décision du Ministre de la guerre, en date du 20 octobre, M. le chef d'escadron d'artillerie de la marine Dupont, détaché au Laboratoire central de la marine, a été nommé membre adjoint et temporaire de la Commission, en remplacement de M. le chef d'escadron Henry, promu lieutenant-colonel et appelé à servir à Brest.

Digitized by Google

Enfin, par décision du Ministre de la guerre, en date du 31 octobre, M. le capitaine LEPIDI, chef du service des poudres, artifices et explosifs, à la section technique de l'artillerie, a été nommé membre adjoint et temporaire de la Commission, en remplacement de M. le commandant BERTRAND, appelé à servir au 7e régiment d'artillerie à Rennes.

En outre, M. CRÉ, chef de bataillon du génie, appelé à servir en province et ayant cessé ses services à la Commission, n'a pas encore été remplacé.

En conséquence, l'état de la Commission, au 31 décembre 1899, est le suivant :

MM. BERTHELOT, membre titulaire, président;
SARRAU, membre titulaire, vice-président;
MORIN, membre titulaire;
LECHIEN, membre titulaire;
RICQ, membre titulaire;
CORNU, membre titulaire;
BERTRAND, membre titulaire;
VIEILLE, membre titulaire;
LIOUVILLE, membre titulaire, secrétaire.

BONNICHON, membre adjoint;
DUCRU, membre adjoint;
DUPONT, membre adjoint;
GERBAULT, membre adjoint;
HAGRON, membre adjoint;
LHEURE, membre adjoint;
LEPIDI, membre adjoint;
LEDOUX, membre adjoint;
LE CHATELIER, membre adjoint;
CHESNEAU, membre adjoint.

Paris, le 12 avril 1900.

Vu :

Le président, BERTHELOT.

Le secrétaire, LIOUVILLE.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE DU TOME X

Digitized by Google

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE.

DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

Digitized by Google

Digitized by Google

FRANCE[1].

N° 251.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

POUDRES A FEU.

Exportation. — Délivrance à l'industrie privée des poudres réglementaires de la Marine française.

(Circulaire n° 258 du 14 janvier 1898.)

L'attention du Ministre de la guerre a été appelée sur les avantages qu'il pourrait y avoir à délivrer à l'industrie privée des poudres satisfaisant aux mêmes conditions que celles de la Marine française. Cette délivrance aurait pour résultat de favoriser le développement en France de l'industrie du matériel de guerre, en permettant à nos fabricants d'accepter des commandes de l'étranger et de fournir les poudres appropriées à ce matériel.

Après entente entre les départements ministériels intéressés, il a été décidé qu'indépendamment des poudres diverses noires et prismatiques brunes, les poudres du type B énumérées ci-après, en usage dans la Marine, pourront dorénavant être cédées à l'industrie privée, savoir : BR, BM 1, BM 3, BM 5, BM 7, BM 9, BM 11 et BM 13.

Les conditions de livraison des poudres ci-dessus désignées sont celles qui ont été fixées pour la livraison des poudres d'exportation, par le décret du 21 mai 1886; ces conditions sont contenues dans la notice annexée à la circulaire n° 219, du 22 juillet 1897.

Mais, pour la transmission des demandes de cession des poudres nouvellement mises à la disposition de l'industrie privée, il y aura

(1) Voir 1 *3, 2 *3, 3 *3, 4 *3, 5 *3, 6 *3, 7 *3, 8 *3 et 9 *3 les nos 1 à 250.

Digitized by Google

lieu de suivre une procédure spéciale. Les demandes devront être adressées par les intéressés au Ministère des affaires étrangères qui les examinera au point de vue des relations internationales, puis les fera parvenir au Ministre de la marine, pour être instruites et acceptées, avant d'être transmises, à fin d'exécution, au Ministre de la guerre.

Le prix de cession des nouvelles poudres sera celui des poudres BN.

Les dispositions ci-dessus devront être portées par le service à la connaissance des exportateurs.

Le Conseiller d'État, Directeur général,
A. CATUSSE.

N° 232.

APPLICATION DU DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1897.
Option entre l'aliénation et la réserve du capital.

Paris, le 20 janvier 1898.

Monsieur le Directeur, je vous informe qu'à la date du 12 janvier courant, j'ai pris la décision suivante, concernant les dispositions du décret du 26 février 1897 relatives à la réserve ou à l'aliénation du capital versé par le personnel civil d'exploitation des établissements militaires :

« En ce qui concerne le personnel civil des établissements militaires aujourd'hui en service, seront seules considérées comme définitives les options relatives au mode de versement à la Caisse nationale des retraites (capital aliéné ou capital réservé) faites à partir du 1er *janvier* 1898.

» Le montant des versements faits à capital réservé, depuis le 1er mars 1897, devra être aliéné si l'intéressé veut bénéficier de la garantie de minimum de retraite stipulée par l'article 10 du décret. »

Pour le Ministre et par son ordre :
Le Secrétaire général,
Par délégation :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

Digitized by Google

N° 253.

EXPLOSION SURVENUE, LE 25 OCTOBRE 1897, A LA POUDRERIE NATIONALE DE SAINT-CHAMAS.

(Lettre collective n° 2.)

Paris, le 3 mars 1898.

Messieurs, le 25 octobre 1897, vers $7^h 45^m$ du matin, une explosion s'est produite dans l'usine à meules n° 19 de la poudrerie nationale de Saint-Chamas, donnant lieu à un commencement d'incendie dans l'usine voisine n° 18.

Cette explosion, dont la cause n'a pu être déterminée exactement lors de l'enquête à laquelle elle a donné lieu, n'a pas fait de victimes et les pertes et dégâts matériels peuvent être évalués à 1618^{fr} environ.

Je vous adresse ci-joint, avec une vue photographique des lieux après l'accident, le rapport de M. l'Inspecteur général Sarrau, chargé de l'enquête réglementaire.

Comme la lettre collective n° 9 du 23 septembre 1897 vous l'a indiqué, la Commission centrale du service des Poudres et Salpêtres est chargée de l'étude d'une instruction spéciale, concernant l'installation des appareils d'inondation et les précautions à prendre pour le fonctionnement des usines à meules; cette instruction vous sera prochainement adressée.

Pour le Ministre :
Le Secrétaire général,
Par délégation :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

RAPPORT

sur l'explosion de l'usine à meules n° 19, survenue le 25 octobre 1897 à la poudrerie nationale de Saint-Chamas.

Une explosion s'est produite le 25 octobre 1897, vers $7^h 45^m$ du matin, à la mise en train, dans l'usine à meules n° 19 chargée de 20^{kg} de poussiers de chasse. Cette explosion n'a pas fait de victimes.

Le feu s'est mis en différents points de l'usine n° 18; mais, l'appareil d'inondation du groupe ayant bien fonctionné, cette usine n'a pas fait

Digitized by Google

explosion, et les commencements d'incendie qui s'y étaient produits, ont été rapidement éteints. Les constatations de l'enquête sont les suivantes :

I. Disposition du groupe 18-19. — Conformément à la disposition générale de la ligne supérieure, les usines 18-19, séparées par un cabinet ayant 5^m de largeur, ont leurs devantures tournées vers une colline formant falaise ou paroi verticale de 20^m de hauteur, à la distance de 4^m des usines.

La prise d'eau se fait par une ouverture percée dans la colline, suivant une conduite établie à $5^m,65$ au-dessus du sol, sur un massif en maçonnerie où une arche est pratiquée pour le passage d'une usine à l'autre. L'eau est ainsi menée dans le cabinet, au-dessus de chacune des deux roues motrices, et le débit en est réglé, à la sortie de la colline, par une vanne sous laquelle passe continûment, en temps normal, la quantité d'eau nécessaire à la marche du groupe.

Lorsqu'une usine est à l'arrêt, l'eau se déverse dans le canal de fuite par une conduite inclinée disposée au-dessus de l'avant de la roue, c'est-à-dire du côté de la façade des usines.

Pour donner le mouvement, l'ouvrier actionne un vannage qui dirige l'eau en sens inverse, sur une conduite disposée au-dessus de l'arrière de la roue, de manière à remplir partiellement les augets de celle-ci; mais cette eau ne suffit pas à produire le mouvement de la roue, que l'ouvrier détermine en actionnant le volant de l'appareil de galetage. Le mouvement définitif s'obtient enfin en ouvrant, au-dessus de la roue, une trappe qui fournit l'eau du régime normal.

II. Conditions de la mise en marche. — Le service du groupe 18-19 comporte un conducteur et deux servants qui, suivant l'usage établi dans l'ensemble des usines à meules, doivent opérer comme il suit :

Après avoir chargé l'usine 18, le conducteur va vérifier le chargement fait à l'usine 19 par l'un des servants; puis, passant derrière celle-ci en suivant son mur latéral, il actionne, ainsi qu'il a été dit précédemment, le vannage et le volant de galetage jusqu'à ce que la roue de cette usine commence à tourner. Il débraye alors le pignon de galetage, retire un peu d'eau au vannage et va faire les mêmes opérations à la roue de l'usine 18. Lorsque cette seconde roue est mise en marche, il revient à l'usine 19 et lève la trappe, ce qui met l'eau sur le milieu de la roue et établit le régime normal. Il lève enfin la trappe de l'usine 18 et se rend devant les usines.

III. Circonstances de l'explosion. — L'explosion a eu lieu un lundi, à la reprise du travail. La veille, le nettoyage de l'usine 18 avait été fait par le poudrier Courtasse, conducteur du groupe; le nettoyage de l'usine 19 avait été fait par le poudrier Livon (Bienvenu) qui, ainsi qu'il l'a déclaré,

Digitized by Google

n'avait remis en place ni les repoussoirs, ni le cache-crapaudine, ces pièces étant ordinairement replacées par le conducteur, qui en constate ainsi lui-même le bon fonctionnement. En fait, au moment de l'explosion, le cache-crapaudine de l'usine 19 n'était pas à sa place, et le poudrier Courtasse a déclaré que l'obscurité ne permettait pas de l'y mettre et qu'il attendait, pour cela, que le jour fût venu. Au moment de l'explosion, cette pièce était posée au milieu de la devanture, contre l'un de ses montants.

La veille aussi de l'explosion, le chef-mécanicien principal Bech, vérifiant les appareils de suspension, avait constaté qu'une règle plate, de 4^{mm} d'épaisseur, passait librement entre les meules et la piste.

Le 25 octobre, dès la reprise du travail, deux charges de poussiers avaient été successivement triturées dans chaque usine, et c'est à une troisième charge que l'explosion s'est produite dans l'usine 19. Toutes ces charges avaient été pesées le samedi 23 octobre, au dépôt 31, par le brigadier Lauvergne qui, ayant ainsi préparé huit tines de poussiers, affirme avoir fait, dans toutes, l'humectage réglementaire.

Les troisièmes charges ont été placées sur la piste par le conducteur Courtasse dans l'usine 18, par le servant Bézet dans l'usine 19. Celui-ci étant parti avec les secondes charges précédemment triturées, le conducteur Courtasse affirme, dans sa déposition, avoir vérifié le chargement de l'usine 19, s'être dirigé vers les roues motrices en arrière des usines, avoir mis en marche d'abord l'usine 18, puis ensuite l'usine 19, être revenu à l'usine 18 pour lever la trappe, et c'est, dit-il, lorsqu'il allait lever la trappe du l'usine 19 que l'explosion s'est produite dans cette usine.

Ce conducteur a immédiatement arrêté d'abord le moteur de l'usine 19, ensuite celui de l'usine 18.

IV. Effets de l'explosion. — 1° *Sur l'usine* 19. — La devanture vitrée a été entièrement brisée et projetée en avant; les chevrons, les voliges et la serge de la couverture ont été aussi entièrement projetés, et des débris en ont été lancés sur la colline, jusqu'à 25^{m} de hauteur; les pannes seules sont restées en place. Les grillages qui couronnent les murs sont un peu détériorés. Le mur de fond (de $0^{m},90$) est un peu dégradé; ce mur a d'ailleurs subi des explosions antérieures, notamment celle du 9 mai 1888.

La distance des meules à la piste n'est plus partout égale à 4^{mm}; elle est environ de 3^{mm} aux points les plus éloignés de l'arbre vertical des meules et 5^{mm} aux points les plus rapprochés, les deux meules ayant pris une légère inclinaison relative correspondant à une petite flexion de leur essieu.

Les repoussoirs sont intacts, mais la tringle du repoussoir extérieur est tordue; les moises sont faussées et les deux colliers qui les maintiennent,

Digitized by Google

soulevés verticalement de 2^{cm} environ, ne reposent plus sur les embases de l'œillard de l'arbre vertical.

Les grattoirs, à peine déplacés, ne présentent aucune déformation. On y constate la présence, sur les surfaces voisines de la meule, de matières fortement adhérentes, dont la compacité est telle que l'explosion n'a pu les enflammer (1).

L'appareil d'arrosage a été démoli; le bassin a été projeté dans l'angle nord-ouest de l'usine, ainsi qu'un bout de tuyau y attenant; un second fragment de tuyau a été lancé au nord du mur de pignon et un troisième par-dessus le mur de fond. Le robinet, après arrachement, est tombé dans l'intérieur du repoussoir extérieur.

L'arbre vertical et les transmissions n'ont subi ni déplacement ni avarie; l'arbre est parfaitement vertical et perpendiculaire à la piste.

La potence et les tiges de suspension sont en bon état.

Le panneau en bois fermant l'œillard où passe l'arbre de la roue, ainsi que la glace d'un œillard renfermant une lampe électrique, n'ont pas été brisés.

Les différents ustensiles de l'usine sont retrouvés brisés ou déformés. Une moitié du cache-crapaudine est restée à la place où l'ouvrier dit l'avoir déposée; l'autre moitié a été retrouvée sous les débris de la couverture.

Une dernière constatation, sur laquelle on reviendra plus loin, est la suivante : un des supports en bronze du bassin à graisse, qui se trouve au-dessous de l'engrenage horizontal des meules, s'est rompu et est resté suspendu par sa lanière; ce support était placé au-dessus de l'une des meules et un peu en arrière de son sommet.

2° *Sur l'usine* 18. — La devanture a été fortement poussée en avant et la couverture en serge est très avariée. Quelques trous, dans les parties de serge restées en place, indiquent que des débris, venant de l'usine 19, sont tombés sur la couverture de l'usine 18, l'ont traversée et ont sans doute déterminé les commencements d'incendie constatés dans cette usine. L'explosion qui devait sûrement en résulter, a été évitée par le bon fonctionnement de l'appareil d'inondation. Quant à l'inflammation instantanée qui aurait pu se produire par la projection, dans l'usine 18, de gaz incandescents provenant de l'usine 19, on peut supposer qu'elle a été évitée,

(1) Ces matières, déposées sous forme de croûtes, au cours du travail des meules, ont fait, au Laboratoire central, l'objet d'une analyse qui a bien constaté la présence des trois composants, avec réduction du taux de soufre, qui est respectivement 7,37 et 6,80 pour 100 pour les matières prélevées dessus et dessous les grattoirs. L'analyse y a trouvé aussi du cuivre et des graviers, en petites quantités.

Digitized by Google

malgré les conditions spéciales résultant de la présence d'une paroi verticale en face des deux usines, grâce au massif de la prise d'eau qui a fait écran entre les deux devantures.

3° *Sur les autres bâtiments.* — Les dégâts, peu importants, se réduisent à quelques bris de vitres. Le bassin d'inondation de l'usine 14 a basculé et a inondé la piste.

V. CAUSES DE L'EXPLOSION. — L'enquête n'a constaté aucune défectuosité de mécanisme à laquelle on puisse attribuer l'explosion. La légère flexion de l'essieu qui, ainsi qu'il a été dit plus haut, s'est produite après l'accident, n'était pas une déformation permanente, car, les meules ayant été mises sur cuir, cet essieu a pu être retiré avec la plus grande facilité. Aucune grippure n'a été constatée sur lui, ni sur les pièces, telles que rondelles, dans lesquelles il est logé. Aucune trace de frottement n'a été trouvée, ni sur les meules, ni sur la piste, dont les surfaces sont en parfait état. Enfin on n'a reconnu l'absence d'aucun boulon, écrou ou autre accessoire des meules et organes annexes.

Il est tout à fait improbable que l'une des meules ait pu tomber sur la piste. Lors d'une visite à fond de l'usine, faite le 27 septembre précédent, l'épaisseur de la cale de l'œil central avait été augmentée de 1^{mm} et, la veille même de l'accident, le maître-mécanicien avait reconnu que la suspension était telle qu'une règle de 4^{mm} passait librement entre les meules et la piste. Il est vrai qu'après l'explosion la distance des meules à la piste s'est réduite à 3^{mm} dans le voisinage de la circonférence extérieure de la piste; mais, dans le cas même où ce dérangement de la suspension aurait précédé l'accident, les meules, en tombant, n'auraient pas encore touché la piste. On s'en est assuré en faisant passer les meules sur des cales de 25^{mm} de hauteur et en faisant tomber l'une d'elles, de cette hauteur, sur des tubes de plomb de 4^{mm} de diamètre extérieur, placés côte à côte sur la piste. La hauteur restante du tube de plomb a été de $1^{mm},44$, ne différant que par quelques centièmes de millimètre du nombre trouvé antérieurement, lors des expériences faites dans l'état normal de la suspension.

Aucune cause de danger ne semble avoir pu résulter de l'absence du cache-crapaudine ni des croûtes adhérentes aux grattoirs, le relief de ces croûtes n'était pas assez grand pour nuire au fonctionnement régulier du mécanisme.

Une autre hypothèse doit être examinée. Il a été dit plus haut que l'un des supports en bronze du bassin à graisse, qui se trouve au-dessous de l'engrenage horizontal des meules, s'est rompu. Il est assez naturel d'attribuer cette rupture à l'explosion; cependant, l'examen auquel cette pièce a été soumise, notamment au Laboratoire central de la marine, a montré que le bronze en était de fort mauvaise qualité, présentait des soufflures et

Digitized by Google

qu'en particulier il y en avait une, très marquée, au point même de rupture. On peut donc se demander si la cassure, préparée par des vibrations et des secousses antérieures, ne s'est pas faite spontanément au départ des meules. Un effet analogue s'est déjà produit en 1893, dans la même poudrerie, à l'usine à meules 14; l'un des supports du bassin s'est rompu pendant la marche des meules, et un morceau est tombé sur la piste, sans causer d'ailleurs d'accident. En portant ce fait à la connaissance des établissements (Lettre collective du 10 août 1893), le Ministre a prescrit de relier les extrémités des supports au bassin, de manière qu'en cas de rupture la partie cassée reste suspendue et ne tombe pas sur la piste. C'est par suite de l'observation de cette prescription que le fragment dont il s'agit est resté, après l'explosion, suspendu par une lanière; mais le support était précisément au-dessus d'une meule, et la longueur de la lanière était telle que la partie cassée est venue choquer cette meule par les aspérités anguleuses de la surface de rupture. Cette partie pèse environ $0^{kg},800$. et la hauteur de chute était de $0^{m},50$: on peut douter que, dans ces conditions, le choc ait pu produire une étincelle, mais il n'y a pas certitude à cet égard.

Enfin, l'enquête sur les circonstances de la mise en train conduit à remarquer que le conducteur ne l'a pas opérée exactement suivant la marche usuelle. Il a d'abord mis en mouvement les meules 18 chargées par lui-même, au lieu des meules 19 chargées par le servant; cette interversion n'aurait eu d'inconvénient que si le conducteur était allé directement de l'usine 18 à son moteur, en suivant son mur latéral et sans vérifier d'abord le chargement de l'usine 19, ce dont on n'a relevé ni preuve ni même présomption. D'autre part, il y a contradiction, sur un point, entre les dépositions faites à l'enquête par le conducteur Courtasse et par le servant Texier : tandis que le premier déclare que l'explosion s'est produite à l'instant où il ouvrait la trappe sur la roue de l'usine 19, mise préalablement en marche par la manœuvre du vannage et du volant, le second affirme que, quelques secondes avant l'explosion, passant derrière les usines, il avait vu le conducteur mettant la main à l'appareil de mise en train de l'usine 19, mais qu'à ce moment la roue ne tournait pas. La levée de la trappe sur la roue à l'arrêt en aurait provoqué le brusque départ; mais rien, dans la conduite habituelle du poudrier Courtasse, ne conduit à supposer l'éventualité d'une telle négligence; il est, au contraire, très soigneux et il a une grande habitude de la conduite des meules. Il est donc probable, comme le dit dans son rapport M. le directeur de la poudrerie, que la déposition du servant est erronée sur ce point et, si l'on admet la déposition, plusieurs fois répétée au cours de l'enquête, du poudrier Courtasse, on est conduit à supposer qu'au point où il en était de son

Digitized by Google

travail au moment de l'explosion, les meules devaient avoir fonctionné pendant une minute environ, à la vitesse de sept à huit tours.

En résumé, l'enquête n'a pas déterminé la cause de l'accident.

VI.....

VII.....

VIII. Conclusions. — Le 9 mai 1888, une explosion s'était produite, dans le même groupe, à l'usine 18, et le feu se communiqua à l'usine 19 qui, en l'absence d'appareil d'inondation, fit aussi explosion. Le 25 octobre 1897, c'est certainement grâce à cet appareil que l'explosion de l'usine 19 n'a pas occasionné celle de l'usine 18, et ce fait vient à l'appui d'une mesure tendant à généraliser l'emploi des appareils d'inondation.

D'autre part, il est remarquable que, dans les deux explosions et malgré les grillages qui, lors de la seconde, couronnaient les murs forts des usines, la communication du feu se soit faite, soit par la toiture, soit par la devanture, entre les deux bâtiments dont l'isolement était cependant parfaitement réalisé. Il semble certain que cette communication a été favorisée par le voisinage de la colline et l'on voit, par cet exemple, combien il importe de laisser, devant les usines à poudre munies d'un côté faible, un espace assez grand pour que les gaz et débris enflammés puissent s'y répandre facilement dans des directions où ces projections ne soient pas dangereuses.

En ce qui concerne le service particulier de la poudrerie, les constatations de l'enquête conduisent aux recommandations suivantes :

Faire des conditions de chargement et de la mise en train, telles qu'elles ont été définies au n° II, l'objet d'une disposition obligatoire; il est, de plus, indispensable que le conducteur d'un groupe, après avoir chargé l'une des usines, entre dans l'autre pour y vérifier le chargement fait par le servant, et une surveillance spéciale doit s'exercer à cet égard.

Établir les attaches des supports du bassin à graisse, de manière qu'en cas de rupture la partie cassée ne puisse pas atteindre les meules.

Éviter complètement l'existence de croûtes adhérentes aux grattoirs.

Enfin les accidents de meules se produisant le plus souvent à la mise en train, recommander aux ouvriers de ne se présenter devant les usines qu'après un fonctionnement de deux ou trois minutes.

Paris, le 29 janvier 1898.

L'Inspecteur général,
E. SARRAU.

Digitized by Google

N° 234.

APPLICATION DU DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1897.

Droit des veuves à l'obtention de la rente temporaire ou du complément de rente viagère.

Paris, le 18 mars 1898.

Monsieur le Directeur, je vous informe qu'à la date du 9 mars 1898 j'ai pris la décision suivante, concernant les conditions exigées pour le droit des veuves à l'obtention de la rente temporaire ou du complément de rente viagère (application du décret du 26 février 1897) :

« Le deuxième alinéa de l'article 4 de l'instruction B du 23 octobre 1897, pour l'application du décret du 26 février de la même année, a été modifié ainsi qu'il suit :

» Le droit à la rente temporaire ou au complément de rente viagère n'est acquis à la veuve que si son mari réunissait les conditions exigées par l'article 10 du décret du 26 février 1897 sous les paragraphes 1°, 3°, 4°, et si elle-même satisfait aux conditions imposées par l'article 12 de ce décret. »

Pour le Ministre :
Le Secrétaire général,
Par délégation :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

N° 235.

SURVEILLANCE TECHNIQUE DES FABRIQUES D'ARTIFICES, DE CARTOUCHES COMPRIMÉES ET DE MÈCHES DE SURETÉ.

(Lettre collective n° 3.)

Paris, le 31 mars 1898.

Messieurs, pour satisfaire aux demandes d'un certain nombre d'artificiers, et en vue d'éviter que les entrepôts de la régie ne soient conduits à détailler les livraisons de poudres de guerre-finances destinées aux fabriques d'artifices de faible importance, j'ai décidé, après entente avec M. le Ministre des finances, que les-

Digitized by Google

dites poudres pourront être livrées dans des barillets de la contenance de 10kg, dont les dimensions seront les suivantes :

	m
Longueur extérieure.....	0,325
Longueur intérieure, entre jables.....	0,275
Diamètre extérieur, au bouge.....	0,260
Diamètre extérieur, aux bouts.....	0,230

Le prix du barillet de 10kg est fixé à 2fr,50 et celui du sac à 0fr,50.

Je vous prie, Messieurs, d'assurer, chacun en ce qui vous concerne, l'exécution de la présente lettre collective, dont il me sera accusé réception.

Le Ministre de la guerre,
Gal BILLOT.

N° 256.

LOI DU 9 JUIN 1853. — DISPOSITIONS NOUVELLES CONCERNANT LE SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

(Lettre collective n° 4.)

Paris, le 23 avril 1898.

Messieurs, la loi portant fixation du budget général des dépenses et des recettes de l'exercice 1898, promulguée au *Journal officiel* le 14 avril 1898, contient les dispositions suivantes, relatives au personnel secondaire d'exploitation à poste fixe du Service des poudres et salpêtres :

« TITRE III. — ART. 45. — Est complété ainsi qu'il suit le tableau des emplois du service actif annexé à la loi du 9 juin 1853.

.....

» MINISTÈRE DE LA GUERRE. — Chefs ouvriers principaux, chefs ouvriers, brigadiers et poudriers employés dans le Service des Poudres et Salpêtres. »

Je vous prie de porter ces dispositions à la connaissance du personnel d'exploitation secondaire placé sous vos ordres.

Le Ministre de la guerre,
Gal BILLOT.

Digitized by Google

N° 257.

APPLICATION DU DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1897.

Paris, le 2 mai 1898.

Monsieur le Directeur, je vous informe qu'à la date du 26 avril 1898 j'ai pris la décision suivante, qui complète l'instruction A du 23 octobre 1897 (paragraphe 1er, dernier alinéa du n° VII) pour l'application du décret du 26 février 1897 :

« En cas de départ *par suite de mise à la retraite;* l'ouvrier rayé des contrôles recevra la totalité de la somme restant à verser à la Caisse nationale des retraites au moment de son départ. »

Pour le Ministre :
Le Secrétaire général,
Par délégation :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

N° 258.

TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES OU INFECTES.
Première modification au Règlement du 12 novembre 1897.

Paris, le 5 mai 1898.

A MESSIEURS LES ADMINISTRATEURS DES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER.

Messieurs, d'accord avec MM. les Ministres de la guerre et des finances, j'ai décidé qu'il y avait lieu d'apporter les modifications ci-après aux articles 3, paragraphe C, et 69 du Règlement du 12 novembre 1897 relatif au transport par voie ferrée des matières dangereuses ou infectes.

Au paragraphe C de l'article 3, après les mots :

« Explosifs de sûreté »

on ajoutera :

« ..., notamment explosifs du type N (au nitrate de soude ou d'ammoniaque et à la nitro-naphtaline), explosifs du type C (au crésylate et au nitrate d'ammoniaque ou de soude), explosifs du

Digitized by Google

type P (au coton-poudre et au nitrate d'ammoniaque), coton-poudre humide renfermant au moins 25 pour 100 d'eau. »

D'autre part, le deuxième alinéa de l'article 69 sera remplacé par celui-ci :

« Ne seront transportés comme explosifs de sûreté, en dehors de ceux spécialement dénommés à l'article 3, paragraphe C, que ceux dont les fabricants se seront munis d'un certificat du Service des poudres et salpêtres attestant que leurs produits peuvent être transportés comme tels. »

Je vous prie de m'accuser réception de la présente dépêche et de faire rectifier, d'après les indications qu'elle contient, les exemplaires du Règlement déposés dans les stations de votre réseau.

Le Ministre des travaux publics,
TURREL.

N° 259.

SURVEILLANCE TECHNIQUE DES FABRIQUES DE CARTOUCHES COMPRIMÉES ET DE MÈCHES DE SURETÉ.

Paris, le 9 mai 1898.

Monsieur le Directeur, Monsieur le Directeur général des contributions indirectes m'a soumis la question de savoir si, dans les fabriques de mèches de sûreté, le surdosage des poudres livrées par la régie pouvait être autorisé.

L'étude de cette question a été confiée à la Commission centrale du Service des poudres et salpêtres, laquelle a été conduite à conclure que la vitesse de combustion des mèches de sûreté varie beaucoup plus par leur mode de fabrication que par la nature de la poudre employée, au moins tant qu'il s'agit des poudres de même espèce livrées par les poudreries de l'État, et que, par suite, l'addition de matières étrangères n'est nécessaire dans aucune fabrique et doit être rigoureusement interdite.

J'ai approuvé ces conclusions et vous prie de vous en inspirer au cours des visites de fabriques de mèches de sûreté auxquelles vous aurez à procéder.

Pour le Ministre et par son ordre :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

Digitized by Google

N° 260.

INSTRUCTION SUR LE SERVICE DANS LES USINES A MEULES.

(Lettre collective n° 7.)

Paris, le 14 mai 1898.

Messieurs, je vous ai indiqué, dans la lettre collective n° 9 du 23 septembre 1897, que la Commission centrale du Service des Poudres et Salpêtres était chargée de préparer une nouvelle instruction sur les règles à suivre dans le service des usines à meules.

Un rapport, adopté par cette commission dans sa séance du 29 mars 1898, a permis de résumer ces règles dans une instruction, dont je vous envoie ci-joint un exemplaire.

Les prescriptions qui y sont contenues remplacent celles de l'Instruction du 23 août 1878, ainsi que les diverses mesures complémentaires ou modifications qui y ont été apportées à la suite d'explosions d'usines à meules.

Vous aurez à établir, conformément à ces prescriptions et en tenant compte des circonstances locales, les nouvelles consignes à afficher aux usines à meules.

Je vous notifierai ultérieurement les dispositions à adopter pour les appareils d'inondation.

Le Ministre de la guerre,
Gal BILLOT.

INSTRUCTION

sur les précautions à prendre dans le service des usines à meules.

DÉCHARGEMENT.

Le conducteur, en arrêtant les meules, doit prendre, s'il y a lieu, les mesures nécessaires pour éviter les démarrages inopinés (fermeture simultanée des vannes de manœuvre et des vannes de garde, embrayage des transmissions de galetage, quand elles sont susceptibles de servir de frein en cas de grippement des poulies folles, fixation de la fourche de débrayage de la courroie motrice, cales en bois à placer devant les meules, etc.).

Le conducteur (ou le servant) (1) apporte ensuite une tine ou boisseau

(1) Pour une usine double, les deux ouvriers peuvent avoir à effectuer chacun le déchargement et le rechargement d'une des usines.

Digitized by Google

vide, la dépose à proximité du bassin sur une des deux petites plates-formes en bois placées sur le sol; un seul ouvrier doit d'ailleurs rester dans l'usine pour procéder au déchargement. Il enlève avec la balayette et une main en bois les matières de la première moitié de la piste susceptibles d'être détachées sans effort, les met dans la tine, qu'il dépose ensuite sur la seconde plate-forme pour enlever de la même façon les matières de l'autre partie de la piste.

Il appelle alors le servant (ou le conducteur) et emporte les matières déchargées, qui sont placées à l'abri en dehors de l'usine.

Dans le cas d'un déchargement qui doit être suivi d'un rechargement, il laisse sur la piste les culots sur lesquels reposent les meules et les parties trop adhérentes; si ces dernières sont en trop forte proportion, il les humecte pour les détacher.

S'il s'agit d'un déchargement pour nettoyage, on humecte les parties trop adhérentes et on les enlève, puis on fait avancer lentement les meules, soit par le galetage, soit par tout autre moyen, pour les mettre sur cuirs; on détache alors les culots, après humectation des parties qui adhèrent trop fortement à la piste.

L'enlèvement des croûtes adhérentes ne doit, dans tous les cas, se faire qu'avec le grattoir en bois, décrit dans la lettre collective n° 21 du 1er juin 1881.

CHARGEMENT.

Les matières déchargées ayant été mises à l'abri, le conducteur, avec l'aide du servant, introduit dans l'usine les matières à charger: un seul de ces deux ouvriers reste dans l'usine et opère le chargement.

Il étend la nouvelle charge entre les meules, en ayant soin de bien régulariser la couche de poudre, et examine en même temps si la matière ne contient pas de corps étrangers; il la pousse avec soin au contact des culots en avant des meules et constate avec la main que la couche de poudre ne présente aucune discontinuité.

Il graisse et vérifie que l'huile pénètre bien dans toutes les parties frottantes du mécanisme, que toutes les pièces susceptibles de tomber, à la suite d'une rupture, sont bien attachées au moyen de lanières et que tout le mécanisme est en bon état; puis il s'assure que les divers ustensiles de l'usine sont remis à leur place habituelle.

MISE EN MARCHE.

Premier cas. — Le conducteur a fait le chargement : après s'être assuré que toutes les personnes à proximité de l'usine sont à l'abri, il met en marche, d'abord lentement si le mécanisme le permet, puis augmente pro-

Digitized by Google

gressivement la vitesse jusqu'à ce qu'elle atteigne dix tours par minute; il attend que les meules aient fait plusieurs tours à cette vitesse avant de rentrer dans l'usine.

Deuxième cas. — Le servant a fait le chargement (cas de l'une des usines doubles) : il sort de l'usine et prévient le conducteur, qui vérifie que le chargement est bien fait, que le graissage a été effectué et que toutes les précautions indiquées ci-dessus ont été prises; le conducteur met ensuite en marche, avec les précautions précédemment indiquées.

CONDUITE DES MEULES.

Le conducteur, pendant la marche des meules, doit se tenir à l'abri derrière un mur fort, et n'entre dans l'usine que pour en vérifier le fonctionnement, constater l'état de la matière ou l'arroser; il s'abstient de balayer ou d'arroser le sol pendant la marche.

Pour l'arrosage des matières, le conducteur arrête les meules, verse dans le réservoir la quantité d'eau nécessaire, remet ensuite en marche et ouvre le robinet de l'appareil, en évitant autant que possible de tourner autour de la piste en même temps que les meules.

Il s'abstient de toute autre opération sur la piste.

Les balayures doivent être enlevées chaque matin.

Si, par suite d'un arrêt quelconque, les meules sont restées sur culots plus d'une heure, il faut, avant de remettre en marche à la vitesse normale, faire avancer les meules aussi lentement que possible, comme pour un galetage, de manière à dégager les culots; en cas d'arrêt prolongé qui rendrait nécessaire le détachement de ces derniers, on opérerait comme pour un déchargement, c'est-à-dire qu'on sortirait d'abord de l'usine le reste de la charge; l'avancement des meules serait fait alors sur les cuirs.

Lorsqu'il y a lieu de faire un galetage, ce qui n'est presque jamais indispensable, on enlève le repoussoir extérieur.

Les repoussoirs doivent être établis conformément aux modèles dont l'envoi aux poudreries a été prescrit par la dépêche ministérielle du 17 octobre 1877; les mortaises dans lesquelles entrent les tiges d'entraînement sont ajustées de manière à laisser aux tiges un jeu aussi faible que possible, sans cependant que l'enlèvement de ces tiges donne lieu à un frottement; de plus, lesdites mortaises sont creusées sans détacher la partie inférieure de la semelle du repoussoir; il est préférable, en effet, de ne pas être obligé de rapporter, pour former le fond de la mortaise, une pièce qui serait susceptible de se séparer. Pour enlever les repoussoirs, on relève la tige, conformément aux indications de la Note de 1877, accompagnant l'envoi des modèles de repoussoirs, puis on sort le repoussoir de la piste.

Digitized by Google

Quand on ne fait pas de galetage, on ne procède à l'enlèvement et au nettoyage des repoussoirs qu'après la sortie des matières de l'usine.

NETTOYAGE DES MEULES. — RÉGLAGE DES APPAREILS DE SUSPENSION.

Il est procédé dans chaque usine au nettoyage des meules, sans démontage complet, au moins une fois par semaine.

1° Lorsque les appareils de suspension supportent les essieux des meules, on effectue ces nettoyages de la manière suivante :

Les meules étant mises sur cuirs et la matière sortie de l'usine, on enlève les repoussoirs, qu'on immerge complètement dans l'eau pour en détacher les croûtes, puis on fait avancer lentement les meules pour faire reposer les essieux sur les étriers.

Les meules pouvant alors tourner librement sur les essieux, on lave toute leur surface avec une éponge imbibée d'eau et l'on nettoie de même la piste et les grattoirs, de manière à détacher partout les parties de poudre encore adhérentes.

Puis on essuie et l'on graisse soigneusement toutes les surfaces métalliques, sans laisser en aucun point un excès de graisse. On vérifie le bon état de toutes les parties du mécanisme, notamment des lanières attachant les parties susceptibles de tomber après rupture, et l'on s'assure que le jeu entre les meules et la piste est bien réglé.

2° Si les appareils de suspension sont adaptés aux moyeux, il est nécessaire, pour le nettoyage, de faire marcher les meules à l'eau.

Dans ce cas, les meules ne devront être descendues des cuirs qu'après mouillage à l'éponge de toutes les parties accessibles, et la marche à l'eau sera suivie d'une marche sur le charbon, comme il est dit ci-après pour les démontages.

DÉMONTAGES.

On doit procéder, une fois tous les deux mois environ, à un démontage des différentes parties de l'appareil, comportant la visite des essieux.

Après avoir opéré tout d'abord comme pour un nettoyage ordinaire, on remplit la piste d'eau jusqu'à l'embase de la crapaudine, on fait descendre les meules sur la piste et on les fait tourner dans l'eau. On sort ensuite les essieux et l'on démonte les grattoirs, que l'on immerge dans l'eau pour les nettoyer à fond. La visite et le remontage des meules étant terminés, les suspensions sont réglées à nouveau, de manière qu'en aucun point le jeu entre les meules et la piste ne soit inférieur à 4^{mm}; puis on fait marcher les meules sur charbon pendant une demi-heure au moins, afin de permettre de s'assurer de leur bon fonctionnement.

Le charbon neuf ne doit être employé pour cette opération qu'après avoir été trempé dans l'eau.

Digitized by Google

La marche sur charbon est également nécessaire toutes les fois que l'une quelconque des parties du mécanisme a été changée ou réparée.

Après la marche au charbon, on remet les meules sur cuirs, puis on essuie et l'on graisse toutes les parties métalliques.

PRESCRIPTIONS DIVERSES.

Prélarts. — Les prélarts mobiles, tendus au-dessus de l'appareil des meules, sont enlevés et lavés à chaque démontage.

Charges. — Les charges des meules sont fixées uniformément à 20^{kg} pour toutes les poudres noires ou brunes; les binaires qui les composent sont tamisés avant pesage, puis les charges fixées sont humectées et touillées avec soin, et assez longtemps à l'avance pour que l'humidité se répartisse également. Il faut, autant que possible, éviter de charger les meules avec les matières telles qu'elles sortent des tonnes ternaires; lorsqu'on est obligé de le faire, les matières ternaires, pesées par charge de 20^{kg}, doivent être humectées, au moins vingt-quatre heures à l'avance, avec les soins nécessaires pour assurer une bonne répartition de l'humidité, puis tamisées avant d'être portées aux meules.

Les poudres à gros grains qui doivent être repassées sous les meules sont, au préalable, humectées et concassées.

USURE DES PISTES ET DES MEULES.

Si l'usure des surfaces de la piste ou des meules s'oppose au réglage en hauteur des appareils de suspension, ou est susceptible de nuire au bon fonctionnement des meules, on devra procéder au dressage desdites surfaces.

N° 261.

DISPOSITIONS NOUVELLES concernant les ouvriers ayant 60 ans d'âge et licenciés après 15 ans de service.

(Lettre collective n° 8.)

Paris, le 23 mai 1898.

Messieurs, je vous informe qu'aux dates des 7 et 17 mai courant j'ai approuvé les dispositions suivantes concernant le personnel civil des établissements militaires, *non soumis* à la loi du 9 juin 1853.

Des secours viagers seront alloués à tous les ouvriers congédiés depuis le 1er juillet 1896 ou à congédier (à condition que ces der-

Digitized by Google

niers soient entrés au service avant le 1er mars 1897), qui auront quinze ans ou plus de services civils dans lesdits établissements militaires et au moins soixante ans d'âge.

La quotité de ces secours sera calculée d'après les formules ci-après, déjà appliquées :

$$N\frac{275}{30} + n7{,}50 - R \text{ (pour les hommes)},$$

$$N\frac{198}{30} + n5{,}40 - R \text{ (pour les femmes)},$$

dans lesquelles :

N représente le nombre d'années de services (supérieur ou égal à 15);

n le nombre d'années de versements à la Caisse nationale des retraites pour la vieillesse à partir du 1er mars 1897;

R la rente viagère résultant de ces versements.

Il doit, d'ailleurs, demeurer entendu qu'on ne défalquera pas des sommes données par ces formules celles qui sont indiquées par l'article 14 du décret du 26 février 1897 (versements antérieurs au 1er mars 1897, comme ouvrier de l'État, et pensions civiles ou militaires), non plus que la rente qu'auraient produite les versements à la Caisse des retraites qui ont été effectués à la Caisse d'épargne, avec participation de l'État.

Il ne sera pas tenu compte, dans la supputation du nombre d'années de services effectifs (N), des années ayant déjà donné lieu à une pension civile ou militaire.

Toutefois, lorsque les années de services militaires n'auront pas donné lieu à pension, elles seront comprises dans le nombre total d'années de services effectifs (N).

Quant aux années de services civils en dehors des établissements de la guerre et n'ayant pas donné lieu à pension civile, ne seront comprises dans le nombre total des années de services effectifs (N) que celles correspondant à des services civils *de la nature de ceux donnant droit à la pension civile*.

Pour le Ministre :
Le Secrétaire général,
Par délégation :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

Digitized by Google

N° 262.

SURVEILLANCE TECHNIQUE DES FABRIQUES D'ARTIFICES.

Paris, le 25 mai 1898.

Monsieur le Directeur, je vous informe que le troisième paragraphe de la lettre commune n° 4716 du 29 août 1896, relative à la surveillance technique des fabriques d'artifices, est modifié ainsi qu'il suit :

« En conséquence, l'installation de tous appareils (tonnes, meules, etc.) pouvant être utilisés pour la fabrication des *poudres proprement dites* devra être interdite en principe et ne pourra être autorisée exceptionnellement que sous la réserve expresse que ces appareils seront exclusivement affectés à la trituration des matières isolées ou de composés non explosifs. »

Pour le Ministre et par son ordre :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

N° 263.

BARILLAGES DE POUDRES DE COMMERCE EXTÉRIEUR.

(Lettre collective n° 9.)

Paris, le 2 juin 1898.

Messieurs, mon attention a été appelée sur l'interprétation erronée à laquelle a donné lieu le libellé du tableau des barils et sacs de poudres de commerce extérieur, qui figure dans la notice jointe à la circulaire de l'Administration des contributions indirectes en date du 22 juillet 1897.

Ce tableau paraît impliquer, à tort, une certaine correspondance des contenances nominales des barils et des sacs.

En réalité, les barils, d'une part, et les sacs, de l'autre, constituent deux séries distinctes et indépendantes, et le tableau ci-dessus visé doit être remplacé par les tableaux I et II de la lettre collective n° 14 du 15 octobre 1896, sauf les modifications de prix

Digitized by Google

prévues pour l'exercice 1897 et inscrites dans la notice sus-visée du 22 juillet 1897.

Pour le Ministre et par son ordre :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

N° 264.

DÉCRET DU 1er JUIN 1898
fixant les prix de vente des poudres à feu livrées à l'exportation.

(Inséré au *Journal officiel* du 9 juin 1898.)

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897;
Vu les traités des 20 novembre 1815 et 24 mars 1860, qui ont placé le pays de Gex et la partie neutralisée de la Haute-Savoie en dehors de la ligne de douanes;
Sur les rapports des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Les prix des poudres à feu destinées à l'exportation (1) sont fixés ainsi qu'il suit, pour toute commande dont la valeur atteint au moins 100fr :

ESPÈCE DE POUDRES.			PRIX par 100kg.	OBSERVATIONS.
			fr. c.	
Poudres de commerce extérieur		ordinaire..	53,50	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu.
		forte.....	58,00	
Poudres de mine noires	ordinaires.....	ronde. ...	67,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu, à l'état de cartouches comprimées ou à celui de mèches de sûreté.
		anguleuse.	80,00	
		fin grain ..	110,00	
	fortes.....	ronde....	72,00	
		anguleuse.	85,00	
		fin grain ..	115,00	
	lentes.....	grenée....	63,00	
		non grenée	63,00	
		fin grain ..	90,00	

(1) L'exportation s'entend des envois à l'étranger ou dans les colonies et possessions françaises, l'Algérie et la Tunisie exceptées. Toutefois, les prix d'exportation sont applicables aux explosifs de mine, aux nitrates d'ammoniaque ou de soude du type N, expédiés à destination de la Tunisie.

Digitized by Google

ESPÈCE DE POUDRES.				PRIX par 100kg.	OBSERVATIONS.
				fr c	
Explosifs de mine	aux nitrates d'ammoniaque ou de soude	type N (1).	n° 1.....	107,00	Non compris l'encaissage.
			n° 2.....	50,00	
		type C. .	n° 1.....	107,00	Destinées à être exportées à l'état de cartouches comprimées.
			n° 2.....	70,00	
		type P....	n° 1.....	310,00	
			n° 2.....	280,00	
Poudres de chasse	noires..	ordinaires.	barils.....	150,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées en boîtes, à l'état nu (en barils), ou à l'état de cartouches.
			gros. boîtes	175,00	
			pet. boîtes.	195,00	
		fortes.....	barils....	185,00	
			gros. boîtes	225,00	
			pet. boîtes.	265,00	
		spéciales..	barils.....	195,00	
			gros. boîtes	235,00	
			pet. boîtes.	275,00	
	pyroxylées (types S. J. M. R.).		gros. boîtes	950,00	Non compris l'encaissage Destinées à être exportées en boîtes ou à l'état de cartouches.
			pet. boîtes.	1050,00	
Poudres de guerre	noires	ancien type (2).....		105,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu, à l'état de cartouches ou de pièces d'artifices.
		nouveau type (3)	fusil.....	165,00	
			canon	150,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu ou de munitions confectionnées.
	brunes prismatiques (3).. .. .			225,00	
	BN (4) dites *sans fumée*.....			750,00	
Coton-poudre	comprimé (5)	pour torpilles.....		480,00	Non compris l'encaissage.
		grandes formes.....		435,00	
		petites formes.....		655,00	
	en pâte (5)	n° 1.....		350,00	
	coton azotique.	n° 1.....		525,00	
		n° 2.....		340,00	
	cordeaux détonants (le mètre courant).	métallique..		0,55	
		souple.....		0,95	

(1) Les explosifs du type N expédiés en Tunisie bénéficient du tarif d'exportation.
(2) Cette désignation s'applique aux anciens types dits *à canon* et *à mousquet*.
(3) L'exportation de ces poudres pourra être suspendue par un arrêté du Ministre de la guerre.
(4) Les poudres de guerre dites BN sont des poudres à grande puissance balistique, destinées aux fusils de petit calibre et aux canons de tous calibres. L'exportation pourra en être suspendue par un arrêté ministériel.
(5) L'exportation du coton-poudre de guerre pourra être suspendue par un arrêté du Ministre de la guerre.

Digitized by Google

ART. 2. — Les types de poudres de guerre dont l'exportation est autorisée sont les suivants :

I. Anciens types : poudres de guerre dites *à canon* et *à mousquet*.

II. Nouveaux types : poudres à canon, 1° noires C_1, C_2, SP_1, SP_2, A 26/34, A 30/40, R, prismatiques; 2° brunes, prismatiques PB_1, PB_2, PB_3.

Poudres à fusil F_1, F_2, F_3.

III. Poudres BN à canon et à fusil.

IV. Coton-poudre de guerre en charge comprimée ou en pâte.

ART. 3. — Les prix d'exportation fixés pour les poudres de mine, de guerre, de chasse et pour le coton-poudre sont applicables aux explosifs de même espèce vendus par la régie dans le pays de Gex et dans la zone neutralisée de la Haute-Savoie.

ART. 4. — Les Ministres des finances et de la guerre sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 1er juin 1898.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre de la guerre, Gal BILLOT.

Le Ministre des finances, GEORGES COCHERY.

N° 263.

DÉCRET DU 1er JUIN 1898

fixant les prix des poudres à feu livrées aux gouvernements des colonies et des pays de protectorat.

(Inséré au *Journal officiel* du 9 juin 1898.)

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE :

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897;
Sur le rapport des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Les prix des poudres à feu que la régie des contributions indirectes livrera, sous le régime de l'exportation, aux gouvernements des colonies françaises et des pays de protectorat, sont fixés ainsi qu'il suit :

Digitized by Google

ESPÈCE DE POUDRES.			PRIX de vente aux gouvernements des colonies et pays de protectorat, par 100kg.
			fr
Poudres de commerce extérieur...		ordinaire	53 00
		forte	57 50
Poudres de mine noires	ordinaires	ronde	65 00
		anguleuse	78 00
		fin grain	105 00
	fortes	ronde	70 00
		anguleuse	83 00
		fin grain	110 00
	lentes	grenée	61 00
		non grenée	61 00
		fin grain	85 00
Explosifs de mine aux nitrates d'ammoniaque ou de soude.	type N	n° 1	104 00
		n° 2	48 00
	type C	n° 1	104 00
		n° 2	68 00
	type P	n° 1	300 00
		n° 2	270 00
Poudres de chasse	noires ordinaires	barils	145 00
		grosses boîtes	170 00
		petites boîtes	190 00
	noires fortes	barils	180 00
		grosses boîtes	215 00
		petites boîtes	255 00
	noires spéciales	barils	190 00
		grosses boîtes	225 00
		petites boîtes	265 00
	pyroxylées (types S. J. M. R.)	grosses boîtes	900 00
		petites boîtes	1000 00
Poudres de guerre	noires ancien type		100 00
	noires nouveau type	fusil	160 00
		canon	145 00
	brunes prismatiques		220 00
	BN dites *sans fumée*		700 00
Coton-poudre	comprimé	pour torpilles	465 00
		grandes formes	420 00
		petites formes	635 00
	en pâte		340 00
	coton azotique	n° 1	510 00
		n° 2	330 00
	cordeau détonant, le mètre courant	métallique	0 50
		souple	0 90

Digitized by Google

ART. 2. — Les Ministres des finances et de la guerre sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre des finances, GEORGES COCHERY.

Le Ministre de la guerre, Gal BILLOT.

ANNEXE AUX DOCUMENTS Nos 264 ET 265.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

FIXATION, POUR 1898, DES PRIX DE VENTE des poudres d'exportation et des poudres à livrer aux gouvernements des colonies et pays de protectorat.

(Circulaire n° 288, du 14 juin 1898.)

L'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897 a disposé que « des décrets détermineront les prix auxquels les poudres de toute espèce livrées à l'exportation devront être vendues par la régie des contributions indirectes ».

En exécution de cette disposition, deux décrets en date du 1er juin courant, dont le texte est reproduit ci-dessus, ont fixé, d'une part, les prix de vente des poudres destinées à l'exportation générale et, d'autre part, les prix de vente des poudres que la régie est autorisée à livrer aux gouvernements des colonies et des pays de protectorat.

Pour les indications générales relatives à l'exportation des poudres à feu, le service continuera de se reporter aux instructions contenues dans la circulaire n° 452, du 6 juin 1886, et aux conditions rappelées dans la notice insérée à la suite de la circulaire n° 219, du 22 juillet 1897.

Les prix fixés pour l'exportation générale continuent d'être applicables aux poudres à feu livrées à l'intérieur pour des essais et pour l'épreuve des armes.

Les prix spéciaux admis en faveur des gouvernements des colonies et pays de protectorat seront, comme par le passé, appliqués, selon l'espèce, aux cessions de poudres *neuves* faites aux communes. Les poudres de *démolition* livrées à la même destination seront toujours décomptées au prix uniforme de 0fr,75 par kilogramme, conformément aux dispositions de la circulaire n° 188, du 2 décembre 1896.

Digitized by Google

Des divergences se sont produites dans l'application des prix fixés pour les emballages des poudres de commerce extérieur et notamment pour les sacs. Les deux tableaux ci-après indiquent distinctement les prix des barillages des diverses contenances et les prix des sacs renfermant la poudre contenue dans lesdits barillages. Les demandes de poudre de commerce extérieur devront spécifier le nombre et le calibre des barils ou barillets, ainsi que le nombre et le calibre des sacs.

TABLEAU I. — PRIX DES BARILS.

Désignation et contenance nominale des barils (1).	Prix du baril ou barillet (2).
kg	fr
0,900	0,27
1,125	0,28
1,350	0,29
1,500	0,30
1,800	0,37
2,000	0,38
2,250	0,40
2,700	0,42
3,150	0,46
3,600	0,50
4,000	0,52
5,000	0,62
6,000	0,70
7,250	0,71
9,000	0,72
10,000	0,80
11,250	0,90
13,500	1,05
15,750	1,15
18,000	1,25
20,000	1,35
20,250	1,45
22,500	1,55
45,000	2,00

(1) Les poids des poudres contenues dans les divers types de barils et barillets pourront différer des contenances nominales, sur la demande des consommateurs, et dans les limites compatibles avec la contenance réelle du barillage.

(2) Lorsque la poudre sera livrée sans sac (ce qui ne peut s'appliquer qu'au transport par eau), le prix du baril ou barillet sera majoré de 0fr,01.

Digitized by Google

TABLEAU II. — PRIX DES SACS.

Désignation des sacs.		Prix du sac (1).
	kg	fr
Sac de	1,125	0,05
»	1,500	0,05
»	2,250	0,07
»	3,150	0,09
»	4,000	0,10
»	9,000	0,14
»	11,250	0,30
»	22,500	0,32
»	45,000	0,65

Il est bien entendu que les prix spécifiés aux décrets du 1er juin courant sont applicables dans les délais légaux d'exécution, c'est-à-dire un jour franc après l'arrivée du *Journal officiel* au chef-lieu de l'arrondissement.

Le Conseiller d'État, Directeur général,
A. DELATOUR.

N° 266.

INTERPRÉTATION
de l'article 21 du décret du 26 février 1897.

Paris, 27 juin 1898.

Monsieur le Directeur, je vous informe qu'à la date du 18 juin courant j'ai pris la décision suivante, concernant l'application du décret du 26 février 1897, en ce qui a trait au versement à la Caisse des retraites des sommes provenant des retenues opérées sur les salaires par mesure disciplinaire :

« Aux termes de l'article 21 (§ I) du décret du 26 février 1897, les sommes provenant des retenues opérées sur les salaires, par mesure disciplinaire, sont versées par l'Administration, aux comptes des intéressés, à la Caisse nationale des retraites à capital aliéné.

» Ces sommes provenant d'un prélèvement sur les salaires

(1) Lorsque la poudre sera livrée sans sac (ce qui ne peut s'appliquer qu'au transport par eau), le prix du baril ou barillet sera majoré de 0fr,01.

Digitized by Google

doivent être considérées comme quote-part des versements auxquels le personnel est astreint.

» Comme conséquence et conformément aux prescriptions de l'article 7 du même décret (§ I), le versement desdites sommes doit, en cas de mariage, profiter par moitié à chaque conjoint. »

Pour le Ministre :
Le Secrétaire général,
Par délégation :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

N° 267.

MISE EN VENTE D'UN TYPE DE POUDRE DE MINE FIN GRAIN, LENTE.

(Lettre collective n° 10.)

Paris, le 29 juin 1898.

Messieurs, en vue de donner satisfaction au désir exprimé par une importante maison d'exportation de mèches de sûreté pour mineurs, j'ai fait mettre à l'étude la fabrication d'un nouveau type de poudre de mine fin grain, à combustion plus lente et à prix de revient moins élevé que la poudre du type ordinaire.

Cette étude, poursuivie à la poudrerie nationale de Vonges, vient d'aboutir à la création d'un nouveau type de poudre qui donne une vitesse de combustion des mèches de 1^m en 125 à 130 secondes (au lieu de 1^m en 90 secondes pour la poudre ordinaire), et qui paraît devoir répondre aux desiderata des consommateurs.

Le prix de revient est inférieur d'environ 0^{fr}, 20 par kilogramme à celui de la poudre de mine fin grain ordinaire.

En conséquence, et après entente avec M. le Ministre des finances, j'ai décidé que ce nouveau type de poudre, dénommé *poudre de mine fin grain lente,* serait mis à la disposition des consommateurs.

Vous trouverez, ci-jointe, une Instruction provisoire sur la fabrication de cette poudre.

Les prix de vente à l'exportation ont été fixés, par les décrets

Digitized by Google

du 1er juin courant, à 0fr,85 par kilogramme pour les gouvernements des colonies et pays de protectorat, et à 0fr,90 pour l'exportation proprement dite.

Le prix de vente pour la consommation intérieure sera fixé ultérieurement.

Je vous prie, Messieurs, de m'accuser réception de la présente lettre collective.

Pour le Ministre :
Le Secrétaire général,
DEMARTIAL.

N° 268.

INSTRUCTION DU 16 JUILLET 1898,
concernant la surveillance des expéditions d'explosifs, munitions et matières assimilées.

(Exécution du Règlement du 12 novembre 1897.)

I. — Objet de l'Instruction.

La présente Instruction a pour but de fixer, conformément à l'article **147** du Règlement du 12 novembre 1897, les moyens d'exécution des règles prévues par les articles **144**, **145** et **146** pour la surveillance à exercer sur les expéditions d'explosifs dans les gares de départ et d'arrivée, et exceptionnellement pendant le trajet sur la voie ferrée.

Elle comprend en outre, bien que la question n'ait qu'un rapport indirect avec l'application du Règlement, diverses dispositions concertées avec MM. les Ministres de la guerre et des finances au sujet des escortes militaires qui doivent accompagner les convois d'explosifs depuis les établissements de l'État jusqu'aux gares, ou réciproquement.

Mais, jusqu'à nouvel ordre, les chemins de fer n'auront pas à se préoccuper de l'organisation des escortes civiles destinées à accompagner, en dehors de l'enceinte de la voie ferrée, les explosifs en provenance ou à destination d'établissements privés.

II. — Matières visées par l'Instruction.

Les matières auxquelles s'applique cette Instruction sont :

1° La dynamite, quel que soit le poids de l'expédition ;

Digitized by Google

2° Lorsque le poids brut de l'expédition atteint ou dépasse 250^{kg}, tous les autres explosifs dénommés à l'article 3, paragraphe A du Règlement, et les munitions et matières assimilées désignées au paragraphe B du même article.

III. — Escortes.

Les expéditions en provenance d'un établissement de l'État sont escortées de cet établissement à la gare de départ par un gendarme, chef d'escorte nécessaire pour dresser procès-verbal, et un ou deux hommes de troupe. Accidentellement, elles peuvent n'être escortées que par un gendarme.

Les expéditions à destination d'un établissement de l'État sont escortées de la même façon de la gare d'arrivée à cet établissement.

IV. — Gardes.

Transports en provenance ou à destination de l'État.

Dans la gare de départ, les expéditions en provenance d'un établissement de l'État sont gardées, jusqu'à la mise en route du train, par l'escorte qui les a amenées au chemin de fer.

Dans la gare d'arrivée, les expéditions à destination d'un établissement de l'État, quand elles ne sont pas enlevées dans un délai de trois heures, compté de l'arrêt du train, sont gardées par un ou deux soldats, la gendarmerie ne pouvant être requise que pour cause d'extrême urgence ou d'éloignement d'une ville de garnison.

Si cependant le séjour en gare se prolonge après ce délai par la faute du chemin de fer ou de son correspondant lorsque celui-ci doit effectuer l'enlèvement de la marchandise, il incombe nécessairement au chemin de fer de faire garder le chargement par un agent.

De même, si la garde militaire ne peut être constituée dans la localité où se trouve la gare et qu'il faille l'attendre un certain temps, le chemin de fer doit faire surveiller provisoirement le convoi par un agent.

Transports en provenance ou à destination de l'industrie privée.

Quand une expédition en provenance d'un établissement privé arrive escortée à la gare de départ, l'escorte est tenue de la garder

Digitized by Google

jusqu'à la mise en route du train. Dans le cas contraire, elle est gardée par un agent du chemin de fer.

La garde est également assurée, dans les gares d'arrivée, par un agent du chemin de fer pour les expéditions à destination d'un établissement privé, si elles ne sont pas enlevées dans un délai de trois heures à compter de l'arrêt du train.

V. — Récapitulation des règles précédentes.

Le tableau ci-après résume les conditions déterminées aux articles II, III et IV.

SENS des expéditions.	NATURE des marchandises.	DÉPART.		ARRIVÉE.	
		Escorte.	Garde.	Garde.	Escorte.
De l'État à l'État..	Dynamite, quel que soit le poids; autres explosifs, munitions et matières assimilées, à partir de 250kg.	Militaire.	Militaire.	Militaire (1).	Militaire.
De l'État aux particuliers.....	Id.	Id.	Id.	Agents du chemin de fer.	(Les chemins de fer n'ont pas, jusqu'à nouvel ordre, à se préoccuper de l'organisation de cette escorte.)
Des particuliers à l'État.....	Id.	(Les chemins de fer n'ont pas, jusqu'à nouvel ordre, à se préoccuper de l'organisation de cette escorte.)	Agents du chemin de fer, à défaut d'escorte civile.	Militaire (1).	Militaire.
Des particuliers aux particuliers.	Id.	Id.	Id.	Agents du chemin de fer.	(Les chemins de fer n'ont pas, jusqu'à nouvel ordre, à se préoccuper de l'organisation de cette escorte.)

(1) Sauf les cas prévus aux alinéas 3 et 4 de l'article IV.

Digitized by Google

VI. — RÉQUISITION DES ESCORTES ET DES GARDES MILITAIRES.

1° *Mouvement entre un établissement de l'État et la gare de départ.*

La réquisition d'escorte militaire au départ émane de l'agent expéditeur du Département de la guerre ou des finances.

Si le transport est à destination de l'État, cette réquisition, devant servir également à l'arrivée, est remise à la gare de départ par le chef de l'escorte, pour être épinglée à la lettre de voiture administrative ou à l'acquit à caution.

Quand l'apport à la gare doit être effectué par le correspondant du chemin de fer, le préposé (1) avise l'agent expéditeur de l'heure à laquelle l'enlèvement sera opéré, afin que celui-ci puisse requérir et obtenir l'escorte pour la même heure.

2° *Mouvement entre la gare d'arrivée et un établissement de l'État.*

La garde militaire à l'arrivée est simplement demandée par le préposé au commandant d'armes dans les villes de garnison, à la gendarmerie s'il n'y a pas de garnison, et au maire dans les localités où il n'y a pas de gendarmerie.

Dans ce dernier cas, il appartient au maire d'adresser une réquisition au commandant de la brigade la plus voisine.

Pour l'escorte deux cas sont à distinguer :

a. Enlèvement de la marchandise par les moyens du destinataire.

Le chemin de fer joint alors, à la lettre d'arrivage qui doit, autant que possible, être remise au destinataire par exprès, la réquisition établie à l'avance par l'expéditeur quand celui-ci est un établissement de l'État, ou, à défaut, c'est-à-dire pour les envois des particuliers à l'État, une réquisition établie par le maire sur la demande du préposé.

b. Enlèvement par le correspondant du chemin de fer.

Dans ce cas, le préposé fait remettre l'une ou l'autre des réquisitions à la gendarmerie par le correspondant du chemin de fer, qui indique l'heure à laquelle il effectuera l'enlèvement.

(1) Il s'agit ici du préposé tel qu'il est défini par l'article 8 du traité du 15 juillet 1891 pour les transports de la guerre, c'est-à-dire du chef de station.

Digitized by Google

Si cependant la brigade requise ne stationne pas dans la localité, c'est au maire qu'il appartient de lui adresser directement sa propre réquisition ou de lui transmettre la réquisition préalable. Le correspondant du chemin de fer s'entend alors avec le maire pour être avisé de l'heure à laquelle l'escorte pourra être rendue en gare.

VII. — Règlement des frais d'escorte et de garde.

Le chemin de fer n'a jamais à intervenir dans le règlement des frais d'escorte et de garde militaires.

Il n'a pas davantage à régler les frais des escortes civiles qui peuvent être constituées par les soins des expéditeurs; mais ces frais peuvent être compris dans le débours suivi sur l'expédition.

Dans les cas spécifiés à l'article IV ci-dessus où le chemin de fer doit faire garder lui-même le convoi par un agent, il a droit à une rémunération évaluée à raison de 0f, 50 par heure indivisible, sauf quand c'est par sa faute ou celle de son correspondant que l'enlèvement n'a pu être effectué dans le délai de trois heures. Cette rémunération est à la charge du destinataire et le montant en est encaissé au moment de la remise du titre de transport, que l'expédition soit en port dû ou en port payé.

VIII. — Parcours sur la voie ferrée.

Le parcours sur la voie ferrée s'effectue sans escorte, sauf dans les cas exceptionnels où l'autorité militaire use de la faculté qui lui est attribuée par l'article 145 du Règlement.

En dehors de ces cas, la surveillance des expéditions, en cours de route et dans les gares de bifurcation, comme aussi dans les gares d'arrivée pendant le délai de trois heures après l'arrêt du train, est exercée exclusivement par les agents du chemin de fer, sans rémunération spéciale.

L'escorte militaire prévue par ledit article 145 est transportée conformément aux stipulations du traité des transports du Ministère de la guerre.

Le Ministre des travaux publics,
L. TILLAYE.

Digitized by Google

N° 269.

SURVEILLANCE TECHNIQUE DES DÉPOTS DE DYNAMITE.

(Lettre collective n° 11.)

Paris, le 5 août 1898.

Messieurs, les décrets d'autorisation des dépôts de dynamite stipulent que « le dépôt sera, au point de vue technique, soumis en tout temps au contrôle des ingénieurs des poudres et salpêtres, sans que l'assistance de l'autorité municipale soit nécessaire ».

Je vous informe qu'à dater du 1er août prochain ce contrôle technique sera exercé dans les conditions suivantes :

Les ingénieurs de l'établissement, dans la circonscription duquel se trouve le dépôt, procéderont, chaque semestre, à une visite inopinée du dépôt, en vue de vérifier l'exécution des prescriptions réglementaires inscrites au décret d'autorisation. Ils devront également visiter d'office le dépôt dans les cas d'urgence (accidents, etc.). Ils auront enfin à déférer à toute invitation qu'ils recevront du Préfet au point de vue de la surveillance technique du dépôt.

Les frais de déplacement des ingénieurs seront réglés par les soins du Service des poudres et salpêtres et suivant les tarifs en vigueur au Département de la guerre.

Ils auront soin, d'ailleurs, de faire coïncider, autant que possible, les visites des dépôts de dynamite avec celles des fabriques d'artifices, de cartouches comprimées et de mèches de sûreté comprises dans la même région.

Toutefois, lorsqu'une visite aura été faite sur la demande des intéressés, les frais correspondants resteront à leur charge.

Les ingénieurs n'auront, sauf délégation expresse donnée à cet effet par l'administration préfectorale, aucun ordre direct à laisser aux agents préposés à la garde du dépôt. Ils se borneront à consigner dans leur rapport leurs observations, avis et propositions.

Chaque visite fera l'objet d'un rapport établi en trois expéditions, dont l'une sera adressée au préfet du département et les deux autres au Ministre de la guerre (6e direction).

Je vous prie, Messieurs, de m'accuser réception de la présente lettre collective.

Le Ministre de la guerre,
G. CAVAIGNAC.

Digitized by Google

N° 270.

TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES OU INFECTES. Deuxième modification au Règlement du 12 novembre 1897.

Paris, le 10 septembre 1898.

A MESSIEURS LES ADMINISTRATEURS DES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER.

Messieurs, d'après l'avis de la Commission d'examen des questions se rattachant à l'application du Règlement du 12 novembre 1897, relatif au transport par voie ferrée des matières dangereuses ou infectes, j'ai décidé qu'il y avait lieu d'introduire dans ce Règlement les additions ou modifications ci-après :

I. — CARTOUCHES CHARGÉES POUR CANONS.

1° L'article 6 sera complété par un dernier alinéa rédigé comme suit :

« Peuvent également être transportées en vrac les cartouches pour canons composées d'une douille métallique contenant sa charge de tir et d'un projectile renfermant sa charge d'éclatement, à condition que les cartouches ne soient pas munies de leur étoupille de mise de feu et que les projectiles ne soient pas pourvus de leur fusée, ces deux artifices étant pendant le transport remplacés par des bouchons assurant une fermeture absolue. »

2° A l'article 7 on ajoutera un avant-dernier alinéa ainsi conçu :

« Les cartouches pour canons composées d'une douille métallique et d'un projectile avec leurs charges respectives, dans les conditions prévues à l'article 6, doivent, lorsqu'elles sont expédiées en vrac, être arrimées soigneusement sur des sommiers en bois, dans des wagons fermés. »

3° On inscrira à son rang, dans la colonne 1 *bis* de la table alphabétique, la mention :

« Cartouches chargées pour canons (*voir* Munitions de guerre de la première catégorie). »

II. — AMORCES ÉLECTRIQUES MUNIES DE DÉTONATEURS.

1° On ajoutera les mots « amorces électriques munies de déto-

Digitized by Google

nateurs » à la fin du dernier alinéa de l'article 3, § A, et à la suite de l'intitulé qui précède les articles 21 à 23.

2° L'article 21 sera complété par un quatrième alinéa ainsi rédigé :

« Les amorces électriques munies de détonateurs seront placées, au nombre de cinquante au plus, dans des boîtes en carton; ces boîtes seront emballées solidement et sans intervalles vides dans des caisses en planches jointives de 18^{mm} au moins d'épaisseur, à couvercle vissé, dont le poids brut ne pourra pas dépasser 100^{kg}, et qui devront être munies de poignées ou de liteaux, si ce poids excède 10^{kg}. »

3° L'article 22 sera remplacé par le suivant :

« Art. 22. — Le chargement des pièces d'artifice, des mèches de mineurs munies d'amorces ou d'autres moyens d'inflammation et des amorces électriques munies de détonateurs ne peut s'effectuer que dans des wagons couverts et à panneaux pleins. »

4° On inscrira, à leur rang, dans la table alphabétique, les indications ci-après :

« Amorces électriques munies de détonateurs » (colonne 1 *bis*);
« 3^{a} (1^{e}) » (colonne 2 *bis*);
« 4, 5, 21 à 23 » (colonne 3 *bis*);
« 136 à 140, 141 à 152 » (colonne 4 *bis*).

III. — Acide carbonique liquéfié.

1° On intercalera à l'article 3, § *d*, entre l'acétylène comprimé et l'essence de térébenthine, l'alinéa :

« Acide carbonique liquéfié, en récipients contenant au plus 25^{kr} de liquide. »

2° On fera suivre l'article 26 d'un article 26 *bis* ainsi conçu :

« Art. 26 *bis*. — Les prescriptions des articles 24, 25 et 26 ne s'appliquent pas aux petits récipients d'acide carbonique liquéfié dont il est question à l'article 105 *bis* ci-après. »

3° On ajoutera, sous l'intitulé :

Digitized by Google

« Acide carbonique liquéfié, en récipients contenant au plus 25^{gr} de liquide »,

un article 105 *bis* dont la teneur sera :

« ART. 105 *bis*. — Les récipients contenant 25^{gr} au plus d'acide carbonique liquéfié ne sont soumis qu'aux prescriptions suivantes :

» L'acide carbonique doit être pur de tout résidu d'air.

» Les récipients doivent être chargés au maximum de 1^{gr} de liquide pour 1^{cc},34 de capacité.

» Ils doivent offrir, sous la responsabilité du fabricant d'acide carbonique qui en fait usage, une résistance suffisante. »

4° On portera à leur rang, dans la table alphabétique, les indications :

« Acide carbonique liquéfié, en récipients contenant au plus 25^{gr} de liquide. » (Colonne 1 *bis*.)

« 3^{d} (4^{e}) » (colonne 2 *bis*);

« 4, 5, 26 *bis* » (colonne 3 *bis*);

« 105 *bis*, 166 » (colonne 4 *bis*).

IV. — ACIDE SULFUREUX ANHYDRE LIQUÉFIÉ.

1° Les mots « acide sulfureux anhydre liquéfié » seront rayés dans le premier alinéa de l'article 3, § B, dans l'intitulé qui précède l'article 39 et dans les quatre alinéas de l'article 40 où ils se trouvent.

2° On intercalera, après l'article 42, sous l'intitulé :

« Acide sulfureux anhydre liquéfié »,

un article 42 *bis* dont la teneur suit :

« ART. 42 *bis*. — L'acide sulfureux anhydre liquéfié doit être renfermé dans des récipients, soit en fer forgé ou en acier doux, soit en cuivre; ces récipients devront contenir au maximum 1^{kg} de liquide par 0^{lit},8 de capacité.

» Les récipients en fer ou en acier seront assujettis aux conditions spécifiées pour le phosgène aux articles 40 à 42.

» Les récipients en cuivre seront soumis, avant leur mise en

Digitized by Google

service, à une épreuve officielle constatant qu'ils supportent, sans fuites ni déformations permanentes, une pression de 15^{kg}; ils ne pourront être réexpédiés de l'usine productrice, plus de dix ans après la dernière épreuve, sans en subir une nouvelle.

» Chaque récipient en cuivre portera une marque officielle placée à un endroit bien apparent, indiquant le poids du récipient vide, son poids quand il est rempli au maximum et la date de la dernière épreuve ; ces indications devront être poinçonnées par l'agent qui aura procédé à l'épreuve des récipients.

» Quel que soit leur mode d'expédition ou de chargement, ces récipients en cuivre devront être emballés dans des caisses solides en bois, permettant de vérifier facilement les marques officielles. »

3° A l'article **180** on mentionnera l'article **42** ***bis***, entre les articles **40** et **104**.

4° Dans la table des matières, en regard des mots « Acide sulfureux anhydre liquéfié », on supprimera, à la colonne 3, les numéros des articles **40** et **42**, et l'on mettra dans la colonne 3 ***bis*** le numéro de l'article **42** ***bis***.

Ces dispositions annulent la circulaire du 9 mai 1898, qui avait suspendu, en ce qui touche l'acide sulfureux anhydre liquéfié, l'application de l'article **40**.

V. — Explosifs de sûreté.

Au deuxième alinéa de l'article **71**, on substituera les mots « devront être garnies de poignées *ou* de liteaux » à ceux de « devront être garnies de poignées *et* de liteaux ».

Cette substitution avait déjà été admise à titre provisoire par la dépêche ministérielle du 14 avril 1898.

VI. — Celluloïd.

On complétera l'article **110** par un second alinéa ainsi rédigé :

« Cette prescription ne s'applique pas aux colis formés d'objets manufacturés contenus dans des cartons, pourvu que chaque colis soit enfermé dans une enveloppe bien conditionnée, en très fort papier, et ne pèse pas plus de 10^{kg}.

Digitized by Google

VII. — SESQUISULFURE DE PHOSPHORE.

1° On inscrira le sesquisulfure de phosphore après le phosphore amorphe ou rouge, dans le quatorzième alinéa de l'article 3, § *d*, et dans l'intitulé qui précède l'article 111.

2° L'article 111 sera remplacé par le suivant :

« ART. 111. — Le phosphore amorphe ou rouge et le sesquisulfure de phosphore doivent être renfermés dans des cylindres métalliques étanches, contenus eux-mêmes dans des caisses en bois faites de planches bien jointives. »

3° A la table des matières, on ajoutera le sesquisulfure de phosphore à son rang dans la colonne 1 *bis*, et, en regard, on mettra :

Dans la colonne 2 *bis* la mention « 3ᵈ (4ᵉ) »;
Dans la colonne 3 *bis* les numéros des articles 4, 5 et 111;
Enfin dans la colonne 4 *bis* celui de l'article 166.

VIII. — AMORCES ÉLECTRIQUES SANS DÉTONATEURS.

1° On fera figurer les « amorces électriques sans détonateurs » à l'article 3, § D, avant les bonbons fulminants, après le point qui suit l'énumération des munitions de sûreté.

2° Dans l'article 98, premier alinéa, entre « amorces détonantes pour projectiles » et « les bonbons fulminants », on ajoutera « les amorces électriques sans détonateurs ».

3° Le second alinéa du même article 98 sera remplacé par le suivant :

« Les amorces électriques sans détonateurs et les bonbons fulminants, avant d'être emballés dans les caisses en bois, doivent être enfermés dans des boîtes en carton, à raison de cinquante au plus par boîte pour les premières et de douze au plus par boîte pour les seconds. »

4° On inscrira à son rang, dans la colonne 1 *bis* de la table alphabétique, la mention :

« Amorces électriques sans détonateurs (*voir* Munitions de sûreté). »

Digitized by Google

Je vous prie de m'accuser réception de la présente dépêche et de faire rectifier, d'après les indications qu'elle contient, les exemplaires du Règlement déposés dans les stations de votre réseau.

Le Ministre des travaux publics,
Pour le Ministre et par autorisation :
Le Conseiller d'État, Directeur des chemins de fer,
LETHIER.

N° 271.

APPLICATION DE L'ARTICLE 2 DU DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1897.

Paris, le 10 septembre 1898.

Monsieur le Directeur, je vous informe que j'ai décidé, le 8 septembre courant, que la décision de mon prédécesseur, qui vous a été notifiée par lettre commune n° 4837, du 27 août dernier, relativement à l'application de l'article 2 du décret du 26 février 1897, sera complétée ainsi qu'il suit :

« Les dispositions de l'article 2 du décret du 26 février 1897, relatives au renvoi obligatoire des ouvriers ayant atteint l'âge de 65 ans, sont suspendues jusqu'à nouvel ordre.

» Toutefois, la radiation d'office par limite d'âge sera appliquée aux ouvriers âgés de plus de 65 ans qui rempliraient les conditions d'âge et de service pour avoir droit à la pension de retraite prévue par les articles 14 et 15 du décret du 26 février 1897 et qui n'auraient plus toute l'aptitude nécessaire à leur service. »

Pour le Ministre :
Le Secrétaire général,
Par délégation :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

N° 272.

SURVEILLANCE TECHNIQUE DES FABRIQUES D'ARTIFICES.

(Lettre collective n° 13.)

Paris, le 28 septembre 1898.

Messieurs, la lettre collective n° 5, du 19 avril 1893, qui a fixé

Digitized by Google

les bases de la surveillance technique des fabriques d'artifices, stipule « l'obligation de demander à la régie toutes les poudres servant aux détonations et *l'interdiction de produire des poudres grenées* similaires des poudres de l'État, soit par fabrication directe, soit par grenage du pulvérin surdosé ou non, soit par emploi de chlorates, prussiates, etc. ».

D'après ce texte, la question pourrait se poser de savoir si la fabrication de compositions chloratées destinées au chargement de pétards, mais *employées à l'état pulvérulent,* doit être interdite.

Or, il est manifeste que l'esprit des Instructions précédemment établies est de proscrire, au double point de vue des intérêts du Trésor et de la sécurité publique, toute fabrication de poudres servant aux détonations, que ces poudres soient employées à l'état grené ou à l'état pulvérulent.

J'ai décidé, en conséquence, que le paragraphe ci-dessus rappelé de la lettre collective du 19 avril 1893 serait modifié ainsi qu'il suit :

« Obligation de demander à la régie toutes les poudres servant aux détonations, et interdiction de produire des poudres pouvant être substituées aux poudres de l'État, soit par fabrication directe, soit par un grenage du pulvérin surdosé ou non, soit par emploi de chlorates, prussiates, etc. »

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

Le Ministre de la guerre,
Gal CHANOINE.

N° 273.

APPLICATION DE L'ARTICLE 3 DU DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1897 AUX OUVRIERS AGÉS DE PLUS DE 65 ANS.

Paris, le 21 octobre 1898.

Monsieur le Directeur, mon attention a été appelée sur la question de savoir si les ouvriers conservés dans les établissements de la guerre, après l'âge de 65 ans, conformément aux dispositions de ma décision du 25 août dernier, complétée par celle du 8 sep-

Digitized by Google

tembre suivant, doivent continuer à faire des versements à la Caisse des retraites avec participation de l'État.

La Caisse des retraites acceptant des versements après l'âge de 65 ans, je ne vois pas de raison pour ne pas continuer à faire bénéficier des dispositions du décret du 26 février 1897 les ouvriers ayant dépassé cet âge.

Toutefois, il me semble équitable que ces derniers soient laissés libres d'effectuer, ou non, des versements, les versements faits à 66, 67, 68 ans, etc. ne produisant plus qu'une rente déterminée par les tarifs fixés pour l'âge de 65 ans.

J'ai donc décidé que les versements, avec participation de l'État, pourront être continués en faveur des ouvriers conservés après 65 ans, sauf dans le cas où ils s'y refuseraient.

Pour le Ministre et par son ordre :
L'Inspecteur général, Directeur,
BIFFE.

N° 274.

CALIBRE DES BARILLETS A LIVRER AUX ENTREPOSEURS DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

(Lettre collective n° 16.)

Paris, le 8 novembre 1898.

Messieurs, par ma lettre collective n° 3, du 31 mars dernier, je vous ai notifié que les poudres de guerre-finances pourraient désormais être livrées dans des barillets de la contenance de 10^{kg}.

Toutefois, les arrêtés d'autorisation ne permettant à un certain nombre d'artificiers de constituer qu'un approvisionnement inférieur à cette quantité, j'ai décidé, après entente avec M. le Ministre des finances, en vue d'éviter les dangers qui résultent, pour la sécurité des entrepôts, de la manipulation de ces matières, d'abaisser à 5^{kg}, pour le pulvérin comme pour la poudre de guerre, le calibre minimum des barillets.

Le Directeur de la poudrerie nationale du Ripault, chargé de la confection des types de ces barillets, les fera parvenir aux Directeurs des établissements intéressés, dès qu'ils auront été fixés.

Digitized by Google

Je vous prie, Messieurs, d'assurer, chacun en ce qui vous concerne, l'exécution de la présente lettre collective, dont il me sera accusé réception.

Le Ministre de la guerre,
C. DE FREYCINET.

N° 275.

DÉCRET DU 18 NOVEMBRE 1898
portant modification du décret du 26 février 1897 sur la situation du personnel civil d'exploitation des établissements militaires.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu le décret du 26 février 1897,
Vu le rapport du Ministre de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Les dispositions des 6e et 7e alinéas de l'article 14 du décret du 26 février 1897 sont abrogées et remplacées par les suivantes :

« Seront défalquées, le cas échéant, du nombre des années de services servant au décompte de ce minimum, les années de services civils ou militaires qui auraient déjà donné droit à des pensions de l'État avant l'entrée dans l'un des établissements de la guerre. »

ART. 2. — Les minima fixés par l'article 15 du décret du 26 février 1897 pour les pensions des ouvriers ayant accompli trente ans de services civils et militaires ou vingt-cinq ans dans le cas d'invalidité sont portés, pour les pensions liquidées en 1897, à 300fr pour les hommes et 210fr pour les femmes.

Pour les pensions liquidées après 1897, ces chiffres seront augmentés d'année en année, de façon à atteindre, après trente années de versements, le minimum de 500fr (360fr pour les femmes) fixé par l'article 10 dudit décret.

ART. 3. — Les dispositions de l'article 2 du décret du 26 février 1897, relatives à la limite d'âge, ne seront appliquées qu'aux ouvriers embauchés après le 1er mars 1897 et à ceux qui, embau-

Digitized by Google

chés avant cette date, auront accompli, lorsqu'ils arriveront à cette limite d'âge, quinze années au moins de services tant civils que militaires.

ART. 4. — Les ouvriers embauchés avant le 1er mars 1897, qui seront licenciés après 60 ans d'âge (55 pour les femmes) et qui auront plus de quinze, mais moins de trente années de services, recevront un secours viager, destiné à compléter la retraite qu'ils auront acquise par les versements effectués depuis le 1er mars 1897 à un minimum de 10fr par année de service (7fr pour les femmes), et qui, pour chaque année ayant donné lieu à des versements, s'accroîtra, de manière à atteindre, après trente années de versements, 500fr (360fr pour les femmes).

Les ouvriers qui atteindront la limite d'âge de 65 ans sans avoir accompli quinze années de services civils ou militaires et qui seront reconnus hors d'état d'être conservés dans les établissements, recevront, s'ils y ont servi pendant cinq années au moins, un secours dont le montant sera calculé d'après les bases ci-dessus indiquées.

ART. 5. — Les dispositions du premier alinéa de l'article 4 du présent décret seront applicables, par effet rétroactif, aux ouvriers licenciés depuis le 1er juillet 1896; tous les licenciements prononcés jusqu'à ce jour resteront d'ailleurs définitifs.

ART. 6. — Le Ministre de la guerre est chargé de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 18 novembre 1898.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre de la guerre,

C. DE FREYCINET.

N° 276.

INSTRUCTION DU 18 NOVEMBRE 1898 pour l'application du décret du 18 novembre 1898 sur la situation du personnel civil d'exploitation des établissements militaires.

Les mesures prescrites, par le décret du 18 novembre 1898, à

Digitized by Google

l'égard des ouvriers entrés dans les établissements avant le 1er mars 1897, seront complétées par les dispositions suivantes :

1° Les secours concédés en vertu de l'article 4 du nouveau décret seront liquidés et payés en même temps que la rente viagère acquise sur la Caisse nationale des retraites pour la vieillesse, dans les conditions spécifiées pour les compléments de pension par les Instructions A et B du 23 octobre 1897;

2° Les ouvriers qui auraient, depuis le 1er mars 1897, effectué leurs versements à la Caisse des retraites à capital réservé, pourront, par exception aux prescriptions de l'Instruction A du 23 octobre 1897, bénéficier des dispositions du nouveau décret, en aliénant le capital versé jusqu'à ce jour et en versant désormais à capital aliéné.

En compensation de cette aliénation, les veuves et orphelins des ouvriers décédés, en possession d'un secours viager ou y ayant des titres, pourront recevoir des secours calculés sur la base du tiers du secours attribué ou attribuable à l'ouvrier. Ces secours seront payés dans les mêmes conditions que les rentes temporaires prévues par les articles 12 et 16 du décret du 26 février 1897.

3° Les ouvriers licenciés par limite d'âge ayant droit à un complément de rente ou à un secours viager pourront, désormais, être maintenus au service, non seulement avec le salaire d'activité jusqu'à la date de l'entrée en jouissance de leur rente ou secours, mais encore, s'ils le demandent, jusqu'au payement des premiers arrérages, à la condition qu'à partir de la date d'entrée en jouissance leur salaire sera réduit d'une quantité équivalente au taux journalier de la rente ou du secours, afin qu'il n'y ait pas double emploi.

Le Ministre de la guerre,
C. DE FREYCINET.

N° 277.

DÉCRET DU 6 JANVIER 1899
fixant le prix de vente de l'acide picrique destiné à l'exportation.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897,

Digitized by Google

Sur la proposition des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Le prix de l'acide picrique destiné à l'exportation est fixé ainsi qu'il suit, pour toute commande dont la valeur atteint au moins 100fr :

Exportation générale, 2fr, 50 le kilogramme.

Gouvernements des colonies et pays de protectorat, 2fr, 40 le kilogramme.

ART. 2. — Les Ministres des finances et de la guerre sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* et inséré au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 6 janvier 1899.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre des finances, P. PEYTRAL.

Le Ministre de la guerre, C. DE FREYCINET.

ANNEXE AU DOCUMENT N° 277.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

FIXATION, POUR L'ANNÉE 1899, du prix de vente de l'acide picrique destiné à l'exportation.

(Circulaire n° 317, du 23 janvier 1899.)

En exécution de l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897, un décret, en date du 6 janvier courant, a fixé ainsi qu'il suit le prix de vente de l'acide picrique que la régie est autorisée à livrer pour l'exportation :

Exportation générale.....	2fr, 50 le kilog.
Gouvernements des colonies et pays de protectorat...	2fr, 40 »

Les tarifs spécifiés ci-dessus entreront en vigueur dans les délais légaux d'exécution, c'est-à-dire un jour franc après l'arrivée du *Journal officiel* au chef-lieu de l'arrondissement.

Digitized by Google

Les conditions générales relatives à l'exportation des poudres à feu sont applicables à l'acide picrique.

Le Conseiller d'État, Directeur général,
A. DELATOUR.

N° 278.

DÉCRET DU 14 JANVIER 1899
fixant les prix de vente des poudres à feu livrées à l'exportation.

(Inséré au *Journal officiel* du 29 janvier 1899.)

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897;

Vu les traités des 20 novembre 1815 et 24 mars 1860, qui ont placé le pays de Gex et la partie neutralisée de la Haute-Savoie en dehors de la ligne de douanes;

Sur les rapports des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Les prix des poudres à feu destinées à l'exportation (1) sont fixés ainsi qu'il suit, pour toute commande dont la valeur atteint au moins 100fr :

ESPÈCES DE POUDRES.			PRIX par 100kg.	OBSERVATIONS.
			fr c	
Poudres de commerce extérieur		ordinaire..	53,50	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu.
		forte.....	58,00	
Poudres de mine noires	ordinaires.....	ronde.....	67,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu, à l'état de cartouches comprimées ou à celui de mèches de sûreté.
		anguleuse.	80,00	
		fin grain..	110,00	
	fortes.....	ronde.....	72,00	
		anguleuse.	85,00	
		fin grain..	115,00	
	lentes.....	grenée....	62,00	
		non grenée	60,00	
		fin grain..	90,00	

(1) L'exportation s'entend des envois à l'étranger ou dans les colonies et possessions françaises, l'Algérie et la Tunisie exceptées. Toutefois, les prix d'exportation sont applicables aux explosifs de mine au nitrate d'ammoniaque ou de soude du type N expédiés à destination de la Tunisie.

Digitized by Google

ESPÈCES DE POUDRES.				PRIX par 100kg.	OBSERVATIONS.
				fr. c.	
Explosifs de mine	aux nitrates d'ammoniaque ou de soude	type N (1).	n° 1.	107,00	Non compris l'encaissage. Destinés à être exportés à l'état de cartouches comprimées.
			n° 2.	50,00	
		type C.	n° 1.	107,00	
			n° 2.	70,00	
		type P.	n° 1.	315,00	
			n° 2.	290,00	
Poudres de chasse	noires	ordinaires.	barils.	155,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées en boîtes, à l'état nu (en barils), ou à l'état de cartouches.
			gros. boîtes	180,00	
			pet. boîtes	200,00	
		fortes.	barils.	190,00	
			gros. boîtes	230,00	
			pet. boîtes.	270,00	
		spéciales.	barils.	195,00	
			gros. boîtes	235,00	
			pet. boîtes.	275,00	
	pyroxylées (types S. J. M. R.).		gros. boîtes	950,00	Non compris l'encaissage. Destinées à être exportées en boîtes ou à l'état de cartouches.
			pet. boîtes.	1050,00	
Poudres de guerre	noires, ancien type (2)			110,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu, à l'état de cartouches ou de pièces d'artifices.
	noires nouveau type (3)		fusil	165,00	
			canon	145,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu ou de munitions confectionnées.
	brunes prismatiques (3)			260,00	
	BN (4) dites *sans fumée*			750,00	
Coton-poudre	comprimé (5)		p^r torpilles.	460,00	Non compris l'encaissage.
			gr. formes.	420,00	
			pet. formes	640,00	
	en pâte (5) n° 1			350,00	
	coton azotique		n° 1.	525,00	
			n° 2.	325,00	
	cordeaux détonants (le mètre courant).		métallique	0,55	
			souple	1,15	

(1) Les explosifs du type N expédiés en Tunisie bénéficient du tarif d'exportation.

(2) Cette désignation s'applique aux anciens types dits *à canon* et *à mousquet*.

(3) L'exportation de ces poudres pourra être suspendue par un arrêté du Ministre de la guerre.

(4) Les poudres de guerre dites BN sont des poudres à grande puissance balistique destinées aux fusils de petit calibre et aux canons de tous calibres. L'exportation pourra en être suspendue par un arrêté ministériel.

(5) L'exportation du coton-poudre de guerre pourra être suspendue par un arrêté du Ministre de la guerre.

Digitized by Google

ART. 2. — Les types de poudre de guerre dont l'exportation est autorisée sont les suivants :

I. Anciens types : poudres de guerre dites *à canon* et *à mousquet*.

II. Nouveaux types : poudres à canon : 1° noires, C_1, C_2, SP_1, SP_2, A 26/34, A 30/40, R prismatiques ; 2° brunes prismatiques, PB_1, PB_2, PB_3, poudres à fusil F_1, F_2, F_3.

III. Poudres BN à canon et à fusil.

IV. Coton-poudre de guerre en charge comprimée ou en pâte.

ART. 3. — Les prix d'exportation fixés pour les poudres de mine, de guerre, de chasse et pour le coton-poudre sont applicables aux explosifs de même espèce vendus par la régie dans le pays de Gex et dans la zone neutralisée de la Haute-Savoie.

ART. 4. — Les prix de vente portés au présent décret seront applicables à partir du 1er février 1899.

ART. 5. — Les Ministres des finances et de la guerre sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 14 janvier 1899.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre de la guerre, C. DE FREYCINET.

Le Ministre des finances, P. PEYTRAL.

N° 279.

DÉCRET DU 14 JANVIER 1899

fixant les prix des poudres à feu livrées aux gouvernements des colonies et des pays de protectorat.

(Inséré au *Journal officiel* du 29 janvier 1899.)

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897 ;
Sur le rapport des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Les prix des poudres à feu que la régie des contributions indirectes livrera, sous le régime de l'exportation, aux gouvernements des colonies françaises et des pays de protectorat, sont fixés ainsi qu'il suit :

Digitized by Google

ESPÈCES DE POUDRES.			PRIX de vente aux gouvernements des colonies et pays de protectorat par 100kg.
			fr. c.
Poudre de commerce extérieur		ordinaire	52,00
		forte	56,50
Poudres de mine noires	ordinaires	ronde	65,00
		anguleuse	78,00
		fin grain	105,00
	fortes	ronde	70,00
		anguleuse	83,00
		fin grain	110,00
	lentes	grenée	60,00
		non grenée	58,00
		fin grain	85,00
Explosifs de mine aux nitrates d'ammoniaque ou de soude	type N	n° 1	104,00
		n° 2	48,00
	type C	n° 1	104,00
		n° 2	68,00
	type P	n° 1	305,00
		n° 2	280,00
Poudres de chasse	noires ordinaires	barils	150,00
		grosses boîtes	175,00
		petites boîtes	195,00
	noires fortes	barils	185,00
		grosses boîtes	220,00
		petites boîtes	260,00
	noires spéciales	barils	190,00
		grosses boîtes	225,00
		petites boîtes	265,00
	pyroxylées (types S. J. M. R.)	grosses boîtes	900,00
		petites boîtes	1000,00
Poudres de guerre	noires ancien type		105,00
	noires nouveau type	fusil	160,00
		canon	140,00
	brunes prismatiques		250,00
	BN dites *sans fumée*		700,00
coton-poudre	comprimé	pour torpilles	445,00
		grandes formes	405,00
		petites formes	620,00
	en pâte, n° 1		340,00
	coton azotique	n° 1	510,00
		n° 2	315,00
	cordeaux détonants, le mètre courant	métallique	0,50
		souple	1,10

Digitized by Google

ART. 2. — Les prix de vente portés au présent décret seront applicables à partir du 1er février 1899.

ART. 3. — Les Ministres des finances et de la guerre sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 14 janvier 1899.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre de la guerre, C. DE FREYCINET.

Le Ministre des finances, P. PEYTRAL.

ANNEXE AUX DOCUMENTS Nos 278 ET 279.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

FIXATION, POUR 1899, du prix de vente des poudres d'exportation et des poudres à livrer aux gouvernements des colonies et pays de protectorat.

(Circulaire n° 319, du 27 janvier 1899.)

En exécution de l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897, deux décrets, en date du 14 janvier courant, ont fixé, d'une part, les prix de vente des poudres destinées à l'exportation générale et, d'autre part, les prix de vente des poudres que la régie est autorisée à livrer aux gouvernements des colonies et pays de protectorat.

Ces prix sont applicables à partir du 1er février prochain.

Pour les indications générales relatives à l'exportation des poudres à feu, le Service continuera de se reporter aux instructions contenues dans la circulaire n° 452, du 6 juin 1886, et aux conditions rappelées dans la notice insérée à la suite de la circulaire n° 219, du 22 juillet 1897.

Les prix fixés pour l'exportation générale continuent d'être applicables aux poudres à feu livrées à l'intérieur pour des essais et pour l'épreuve des armes.

Les prix spéciaux admis en faveur des gouvernements des colonies et pays de protectorat seront, comme par le passé, appliqués, selon l'espèce, aux cessions de poudres *neuves* faites aux communes. Les poudres *de démolition* livrées à la même destination seront toujours décomptées au prix de 0fr,75 par kilogramme, conformément aux dispositions de la circulaire n° 188, du 2 décembre 1896.

Le Conseiller d'État, Directeur général,
A. DELATOUR.

Digitized by Google

N° 280.

DÉCRET DU 14 JANVIER 1899
fixant les prix de vente des explosifs de mine.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE,

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897;
Vu le décret du 30 octobre 1894;
Sur les rapports des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — A partir du 1er février 1899, les prix de vente, à l'intérieur, des explosifs de mine désignés ci-après, sont fixés ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION DES EXPLOSIFS DE MINE.			PRIX de vente par kilogramme. Entrepôts.	PRIX de vente par kilogramme. Débits.
			fr c	fr c
Poudres de mine noires	rondes ou anguleuses..	fortes.....	1,30	1,55
		ordinaires.....	1,25	1,50
		lentes.....	1,15	1,40
	dites fin grain, pour la fabrication des mèches de sûreté.	fortes..... .	1,20	"
		ordinaires..... .	1,15	"
		lentes.....	0,95	"
Explosifs spéciaux de mine	type N..... .	n° 1, au nitrate d'ammoniaque.....	2,55	"
		n° 2, au nitrate de soude.	1,05	"
	type C.....	n° 1, au nitrate d'ammoniaque et au crésylate d'ammoniaque.....	2,55	"
		n° 2, au nitrate de soude et au crésylate d'ammoniaque.....	1,25	"
	type P, cartouches comprimées pour mines grisouteuses.....	n° 1, 20 pour 100 de coton-poudre.....	4,50	4,80
		n° 2, 9,5 pour 100 de coton-poudre.....	4,20	4,50
Coton azotique	pour dynamites.....	n° 1.....	5,25	"
		n° 2.....	3,40	"
	pour usages autres que les dynamites.....	n° 3.....	10,00	"

Digitized by Google

ART. 2. — Ces prix de vente sont applicables à l'Algérie.

ART. 3. — Le Ministre des finances est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 14 janvier 1899.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre de la guerre, C. DE FREYCINET.

Le Ministre des finances, P. PEYTRAL.

N° 281.

DÉCRET DU 14 JANVIER 1899 fixant à 1 fr. 50 par kilogramme l'impôt sur la dynamite.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE,

Vu la loi du 8 mars 1875;
Vu les décrets des 5 juillet 1875 et 12 juin 1890;
Sur les rapports des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — A partir du 1er février 1899, le droit intérieur à percevoir sur la dynamite est fixé à un franc cinquante centimes (1fr, 50) par kilogramme.

ART. 2. — Ce droit est applicable à la dynamite vendue en Algérie dans les conditions déterminées par le décret du 17 mai 1876.

ART. 3. — Le Ministre des finances est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 14 janvier 1899.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre de la guerre, C. DE FREYCINET.

Le Ministre des finances, P. PEYTRAL.

Digitized by Google

ANNEXE AUX DOCUMENTS Nos 280 ET 281.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

NOUVELLE FIXATION DE L'IMPOT
sur la dynamite et du prix de vente des explosifs de mine.

(Circulaire n° 318, du 27 janvier 1899.)

Après entente entre les Départements des finances et de la guerre, il a été procédé à un remaniement de l'impôt qui frappe les explosifs utilisés par l'industrie minière. Ce remaniement a pour but de rétablir, entre les tarifs des diverses espèces d'explosifs pour mines, une proportionnalité qui n'existait pas jusqu'ici : la poudre de mine ordinaire, par exemple, supportait, en effet, un impôt relativement plus élevé que les explosifs de force supérieure, notamment la dynamite.

En exécution des dispositions contenues dans les articles 1 et 2 de la loi du 8 mars 1875 et dans l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897, deux décrets, en date du 14 janvier courant, ont fixé, d'une part, l'impôt à percevoir sur la dynamite livrée à l'intérieur ou expédiée en Algérie et, d'autre part, les prix de vente, à l'intérieur et en Algérie, des autres explosifs de mine.

Le droit sur la dynamite est relevé de 1fr à 1fr,50 par kilogramme.

Le Tableau ci-après donne la nomenclature des explosifs de mine fabriqués par les poudreries nationales, avec l'indication des nouveaux prix qui devront être acquittés par les débitants et par les consommateurs.

DÉSIGNATION DES EXPLOSIFS DE MINE.			PRIX de vente par kilogramme. Entrepôts.	PRIX de vente par kilogramme. Débits.
			fr c	fr c
Poudres de mine noires	rondes ou anguleuses..	fortes.....	1,30	1,55
		ordinaires.....	1,25	1,50
		lentes.....	1,15	1,40
	dites fin grain, pour la confection des mèches de sûreté.....	fortes.....	1,20	"
		ordinaires.....	1,15	"
		lentes.....	0,95	"

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES EXPLOSIFS DE MINE.			PRIX de vente par kilogramme	
			Entrepôts.	Débits.
Explosifs spéciaux pour mines	type N	n° 1, nitrate d'ammoniaque et nitronaphtaline... *a* (1).	fr c 2,55	"
		b (1).		
		c (1).		
		d (1).		
		n° 2, nitrate de soude et nitronaphtaline (1)...	1,05	"
	type C	n° 1, nitrate d'ammoniaque et crésylate d'ammoniaque..... *a* (1).	2,55	
		b (1).		
		n° 2, nitrate de soude et crésylate d'ammoniaque (1).....	1,25	"
	type P, cartouches comprimées pour mines grisouteuses.....	n° 1, 20 pour 100 de coton-poudre (1).....	4,50	fr c 4,80
		n° 2, 9,5 pour 100 de coton-poudre (1).....	4,20	4,50
Coton azotique	pour dynamites.....	n° 1.....	5,25	"
		n° 2.....	3,40	"
	pour usages autres que les dynamites.....	n° 3.....	10,00	"

(1) Échantillons différant par les proportions des composants; ces proportions sont indiquées ci-après.

DÉNOMINATION de l'explosif.			COMPOSITION POUR 100 PARTIES.							
			Nitrate d'ammoniaque.	Nitrate de baryte.	Nitronaphtaline			Nitrate de soude.	Crésylate d'ammoniaque.	Coton-poudre.
					mono.	bi.	tri.			
Type N...	n° 1...	*a*...	95,50	"	"	"	4,50	"	"	"
		b...	91,50	"	"	8,50	"	"	"	"
		c...	87,40	"	"	12,60	"	"	"	"
		d...	82,40	5	"	12,60	"	"	"	"
	n° 2.....		"	"	20	"	"	80	"	"
Type C...	n° 1...	*a*...	93,00	"	"	"	"	"	7	"
		b...	78,00	"	"	"	"	"	22	"
	n° 2.....		"	"	"	"	"	75	25	"
Type P...	n° 1.....		80,00	"	"	"	"	"	"	20,00
	n° 2.....		90,50	"	"	"	"	"	"	9,50

Digitized by Google

La nomenclature inscrite au Tableau ci-dessus comporte la mise en vente de nouvelles variétés d'explosifs : poudre de mine fin grain lente et coton azotique n° 3 spécialement destiné aux usages industriels autres que la fabrication des explosifs.

Les nouveaux tarifs doivent entrer en vigueur le 1er février prochain. Ils sont applicables aux ventes faites en Algérie et en Corse.

En ce qui concerne : 1° les inventaires à établir dans les fabriques de dynamite, dans les entrepôts et les débits de poudres; 2° les restitutions de droits à effectuer; 3° les suppléments de prix à percevoir, et 4° les écritures auxquelles donnera lieu l'application des nouveaux tarifs, le Service se conformera aux instructions données par les circulaires n° 591 du 24 juin 1890 et n° 94 du 15 juin 1894.

Par suite de la fixation du prix de vente du coton azotique n° 1 (5fr,25 le kilogramme), les sommes provenant des ventes effectuées jusqu'à ce jour et qui avaient été portées en consignation devront être converties en recette définitive.

Le Conseiller d'État, Directeur général,
A. DELATOUR.

N° 282.

LIVRAISONS DES POUDRES DE MINE AUX ARTIFICIERS.

Paris, le 1er février 1899.

Monsieur le Directeur, je vous informe, à toutes fins utiles, que, par décision du 13 janvier dernier, M. le Ministre des finances a autorisé l'Administration des contributions indirectes à livrer aux artificiers, aux mêmes prix qu'aux autres consommateurs, les poudres de mine qui leur seront nécessaires.

Pour le Ministre et par son ordre :
L'Inspecteur général, Directeur,
LAMBERT.

Digitized by Google

N° 283.

DÉCRET DU 13 FÉVRIER 1899

relatif à la nomination des ouvriers commissionnés dans les établissements militaires.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu le décret du 26 février 1897,
Sur le rapport du Ministre de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Les premier et deuxième paragraphes de l'article 2 du décret du 26 février 1897 sont modifiés comme il suit :

« ART. 2. — Le nombre des commissionnés est fixé par le Ministre : il est, pour chaque service, d'au moins la moitié du nombre des ouvriers nécessaires aux établissements pour leur production normale.

» Les commissionnés sont nommés par le directeur de l'établissement. Sauf pour certaines catégories spéciales déterminées par le Ministre et pour lesquelles les commissionnés sont nommés au choix, la commission est donnée à l'ancienneté, jusqu'à concurrence du nombre fixé, après avis d'un conseil d'établissement composé du directeur, de deux officiers ou fonctionnaires employés dans l'établissement et de deux commissionnés ayant au moins quinze ans de service, qui sont élus annuellement par la totalité des ouvriers; l'avis de ce conseil ne peut être modifié que dans un sens favorable à l'intéressé. »

ART. 2. — Le Ministre de la guerre est chargé de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 13 février 1899.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre de la guerre,
C. DE FREYCINET.

Digitized by Google

N° 284.

TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES OU INFECTES.

Troisième modification au Règlement du 12 novembre 1897.

Paris, le 25 février 1899.

A MESSIEURS LES ADMINISTRATEURS DES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER.

Messieurs, d'après l'avis de la commission d'examen des questions se rattachant à l'application du Règlement du 12 novembre 1897, relatif au transport par voie ferrée des matières dangereuses ou infectes, j'ai décidé qu'il y avait lieu d'introduire dans ce règlement les additions ou modifications ci-après, concernant le chlorure d'acétyle, les munitions de sûreté et les graisses fraîches :

I. — Chlorure d'acétyle.

Au dernier alinéa de l'article 57, on ajoutera une phrase ainsi conçue :

« Pour le chlorure d'acétyle, la terre d'infusoires pourra être remplacée par de la sciure de bois. »

II. — Munitions de sûreté.

L'article 96 sera complété comme suit :

« Ce certificat est exigible aussi bien pour les produits dénommés aux articles 97 et 98 que pour tous autres produits que les fabricants désireraient voir traiter comme munitions de sûreté.

» Toutefois, on pourra y substituer :

» Soit une déclaration de l'expéditeur attestant sous sa propre responsabilité que les munitions présentées au chemin de fer sont conformes à un type reconnu comme rentrant dans la catégorie des munitions de sûreté par un certificat du Service des poudres et salpêtres ou de l'artillerie dont la date sera indiquée sur cette déclaration;

Digitized by Google

» Soit une bande collée d'une manière bien apparente sur le colis et portant les mentions ci-dessous :

« Munitions de sûreté dénommées (*ou* assimilables à celles dénommées) à l'article 97 (*ou* 98) du Règlement du 12 novembre 1897.

» Certificat du Service des poudres et salpêtres (*ou* de l'artillerie) en date du... »

III. — Graisses fraiches.

1° On fera figurer les mots *graisses fratches* après ceux de *sabots* à la fin du 4e alinéa du § F de l'article 3.

2° L'article 133 sera remplacé par le suivant :

« Les os frais, tendons, cornes, onglons et sabots peuvent être enfermés dans des sacs et les graisses fraîches dans des sacs ou paniers en osier, du 1er octobre au 30 avril; toutes ces matières doivent être contenues dans des tonneaux hermétiquement clos, du 1er mai au 30 septembre. »

3° Un quatrième alinéa ainsi rédigé sera ajouté à l'article 170 :

« Toutefois, les graisses fraîches transportées en sacs ou en paniers d'osier du 1er octobre au 30 avril pourront être admises dans les fourgons des trains de voyageurs et de messageries. »

4° On inscrira les *graisses fratches* à leur rang dans la colonne 1 *bis* de la table des matières, avec les indications :

« 3F (6e) », dans la colonne 2 *bis;*

« 4, 5, 126, 127, 133 », dans la colonne 3 *bis;*

« 170 à 173 », dans la colonne 4 *bis*.

D'autre part, la circulaire du 10 septembre 1898, qui a déjà modifié pour la seconde fois le règlement, porte que les mots : *acide sulfureux anhydre liquéfié* seront rayés dans le premier alinéa de l'article 3, § B, et que, dans l'article 98, premier alinéa, entre *amorces détonantes pour projectiles* et *les bonbons fulminants,* on intercalera *les amorces électriques sans détonateurs.*

Il y a là deux erreurs d'impression qu'il convient de signaler,

Digitized by Google

bien qu'elles n'aient pu prêter à aucune confusion : c'est évidemment de l'article 3, § *b*, qu'il s'agit pour l'acide sulfureux, et c'est après *amorces non détonantes pour projectiles* qu'il faut faire mention, à l'article 98, des *amorces électriques sans détonateurs*.

De plus, la suppression des mots *acide sulfureux anhydre liquéfié* dans le premier alinéa du § *b* de l'article 3 doit être compensée par le rétablissement de ces mots dans le même paragraphe en un alinéa spécial placé immédiatement après le premier, avant celui qui est consacré au chlorure de méthyle et qui deviendra ainsi le troisième.

Je vous prie de m'accuser réception de la présente circulaire et de rectifier, d'après les dispositions qu'elle contient, les exemplaires du règlement déposé dans les stations de votre réseau.

Recevez, Messieurs, l'assurance de ma considération très distinguée.

Le Ministre des travaux publics,

Pour le Ministre et par autorisation,

Le Conseiller d'État, Directeur des chemins de fer,

D. PÉROUSE.

N° 283.

DÉCRET DU 12 MARS 1899

fixant le prix de vente, à l'intérieur, de l'explosif de mine du type C, n° 1 *bis*.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897;
Sur la proposition des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — La régie des contributions indirectes est autorisée à mettre en vente un nouvel explosif spécial de mine du type C, désigné sous le n° 1 *bis*.

Le prix de vente de cet explosif dans les entrepôts est fixé à 2fr,75 le kilogramme.

Digitized by Google

ART. 2. — Ce prix de vente est applicable à l'Algérie.

ART. 3. — Le Ministre des finances est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* et inséré au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 12 mars 1899.

ÉMILE LOUBET.

Par le Président de la République :

Le Ministre des finances, P. PEYTRAL.

Le Ministre de la guerre, DE FREYCINET.

N° 286.

DÉCRET DU 12 MARS 1899

fixant le prix de vente, à l'exportation, de l'explosif de mine du type C, n° 1 *bis*.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897 ;
Sur la proposition des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Le prix de l'explosif de mine du type C n° 1 *bis*, destiné à l'exportation, est fixé ainsi qu'il suit, pour toute commande dont la valeur atteint au moins 100^{fr} :

Exportation générale, 127^{fr} les 100^{kg} ;

Gouvernements des colonies et pays de protectorat, 124^{fr} les 100^{kg}.

ART. 2. — Les Ministres des finances et de la guerre sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* et inséré au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 12 mars 1899.

ÉMILE LOUBET.

Par le Président de la République :

Le Ministre des finances, P. PEYTRAL.

Le Ministre de la guerre, DE FREYCINET.

Digitized by Google

ANNEXE AUX DOCUMENTS Nos 285 ET 286.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

MISE EN VENTE D'UN NOUVEL EXPLOSIF DE MINE au nitrate et au crésylate d'ammoniaque.

(Circulaire n° 330, du 23 mars 1899.)

En exécution de l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897, un décret, en date du 12 mars courant, a autorisé la mise en vente d'un nouvel explosif de mine. La nouvelle poudre, composée d'un mélange de 50 pour 100 de crésylate d'ammoniaque et de 50 pour 100 de nitrate d'ammoniaque, prend, dans la nomenclature, la dénomination d'*explosif du type* C, n° 1 *bis*. Son prix de vente est fixé à 2fr,75 le kilogramme pour la consommation intérieure.

Un second décret du 12 mars courant a fixé ainsi qu'il suit, pour toute commande dont la valeur atteint au moins 100fr, le prix du nouvel explosif, en ce qui concerne les livraisons à l'exportation :

Exportation générale.....	1fr,27 le kilogr.
Gouvernements des colonies et pays de protectorat.	1fr,25 »

Les tarifs spécifiés aux décrets ci-dessus visés doivent être appliqués dans les délais légaux d'exécution, c'est-à-dire un jour franc après l'arrivée du *Journal officiel* (22 mars) au chef-lieu d'arrondissement.

Le Conseiller d'État, Directeur général,
A. DELATOUR.

Digitized by Google

N° 287.

LOI CONCERNANT LES RESPONSABILITÉS DES ACCIDENTS dont les ouvriers sont victimes dans leur travail.

Paris, le 9 avril 1898.

LE SÉNAT ET LA CHAMBRE DES DÉPUTÉS ONT ADOPTÉ,

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE PROMULGUE LA LOI dont la teneur suit :

TITRE PREMIER.

INDEMNITÉS EN CAS D'ACCIDENTS.

ARTICLE PREMIER. — Les accidents survenus par le fait du travail, ou à l'occasion du travail, aux ouvriers et employés occupés dans l'industrie du bâtiment, les usines, manufactures, chantiers, les entreprises de transport par terre et par eau, de chargement et de déchargement, les magasins publics, mines, minières, carrières et, en outre, dans toute exploitation ou partie d'exploitation dans laquelle sont fabriquées ou mises en œuvre des matières explosives, ou dans laquelle il est fait usage d'une machine mue par une force autre que celle de l'homme ou des animaux, donnent droit, au profit de la victime ou de ses représentants, à une indemnité à la charge du chef d'entreprise, à la condition que l'interruption de travail ait duré plus de quatre jours.

Les ouvriers qui travaillent seuls d'ordinaire ne pourront être assujettis à la présente loi par le fait de la collaboration accidentelle d'un ou de plusieurs de leurs camarades.

ART. 2. — Les ouvriers et employés désignés à l'article précédent ne peuvent se prévaloir, à raison des accidents dont ils sont victimes dans leur travail, d'aucunes dispositions autres que celles de la présente loi.

Ceux dont le salaire annuel dépasse deux mille quatre cents francs (2,400^{fr}) ne bénéficient de ces dispositions que jusqu'à concurrence de cette somme. Pour le surplus, ils n'ont droit qu'au quart des rentes ou indemnités stipulées à l'article 3, à moins de conventions contraires quant au chiffre de la quotité.

ART. 3. — Dans les cas prévus par l'article 1, l'ouvrier ou l'employé a droit :

Digitized by Google

Pour l'incapacité absolue et permanente, à une rente égale aux deux tiers de son salaire annuel;

Pour l'incapacité partielle et permanente, à une rente égale à la moitié de la réduction que l'accident aura fait subir au salaire;

Pour l'incapacité temporaire, à une indemnité journalière égale à la moitié du salaire touché au moment de l'accident, si l'incapacité de travail a duré plus de quatre jours et à partir du cinquième jour.

Lorsque l'accident est suivi de mort, une pension est servie aux personnes ci-après désignées, à partir du décès, dans les conditions suivantes :

A. Une rente viagère égale à 20 pour 100 du salaire annuel de la victime pour le conjoint survivant non divorcé ou séparé de corps, à la condition que le mariage ait été contracté antérieurement à l'accident.

En cas de nouveau mariage, le conjoint cesse d'avoir droit à la rente mentionnée ci-dessus; il lui sera alloué, dans ce cas, le triple de cette rente à titre d'indemnité totale.

B. Pour les enfants, légitimes ou naturels, reconnus avant l'accident, orphelins de père ou de mère, âgés de moins de seize ans, une rente calculée sur le salaire annuel de la victime à raison de 15 pour 100 de ce salaire s'il n'y a qu'un enfant, de 25 pour 100 s'il y en a deux, de 35 pour 100 s'il y en a trois, et 40 pour 100 s'il y en a quatre ou un plus grand nombre.

Pour les enfants, orphelins de père et de mère, la rente est portée pour chacun d'eux à 20 pour 100 du salaire.

L'ensemble de ces rentes ne peut, dans le premier cas, dépasser 40 pour 100 du salaire ni 60 pour 100 dans le second.

C. Si la victime n'a ni conjoint ni enfant dans les termes des paragraphes A et B, chacun des ascendants et descendants qui était à sa charge recevra une rente viagère pour les ascendants et payable jusqu'à seize ans pour les descendants. Cette rente sera égale à 10 pour 100 du salaire annuel de la victime, sans que le montant total des rentes ainsi allouées puisse dépasser 30 pour 100.

Chacune des rentes prévues par le paragraphe C est, le cas échéant, réduite proportionnellement.

Digitized by Google

Les rentes constituées en vertu de la présente loi sont payables par trimestre; elles sont incessibles et insaisissables.

Les ouvriers étrangers, victimes d'accidents, qui cesseront de résider sur le territoire français recevront, pour toute indemnité, un capital égal à trois fois la rente qui leur avait été allouée.

Les représentants d'un ouvrier étranger ne recevront aucune indemnité si, au moment de l'accident, ils ne résidaient pas sur le territoire français.

ART. 4. — Le chef d'entreprise supporte en outre les frais médicaux et pharmaceutiques et les frais funéraires. Ces derniers sont évalués à la somme de cent francs (100fr) au maximum.

Quant aux frais médicaux et pharmaceutiques, si la victime a fait choix elle-même de son médecin, le chef d'entreprise ne peut être tenu que jusqu'à concurrence de la somme fixée par le juge de paix du canton, conformément aux tarifs adoptés dans chaque département pour l'assistance médicale gratuite.

ART. 5. — Les chefs d'entreprise peuvent se décharger pendant les trente, soixante ou quatre-vingt-dix premiers jours à partir de l'accident, de l'obligation de payer aux victimes les frais de maladie et l'indemnité temporaire, ou une partie seulement de cette indemnité, comme il est spécifié ci-après, s'ils justifient :

1° Qu'ils ont affilié leurs ouvriers à des sociétés de secours mutuels et pris à leur charge une quote-part de la cotisation qui aura été déterminée d'un commun accord, et en se conformant aux statuts-type approuvés par le Ministre compétent, mais qui ne devra pas être inférieure au tiers de cette cotisation;

2° Que ces sociétés assurent à leurs membres, en cas de blessures, pendant trente, soixante ou quatre-vingt-dix jours, les soins médicaux et pharmaceutiques et une indemnité journalière.

Si l'indemnité journalière servie par la société est inférieure à la moitié du salaire quotidien de la victime, le chef d'entreprise est tenu de lui verser la différence.

ART. 6. — Les exploitants de mines, minières et carrières peuvent se décharger des frais et indemnités mentionnés à l'article précédent moyennant une subvention annuelle versée aux caisses

Digitized by Google

ou sociétés de secours constituées dans ces entreprises en vertu de la loi du 29 juin 1894.

Le montant et les conditions de cette subvention devront être acceptés par la société et approuvés par le Ministre des travaux publics.

Ces deux dispositions seront applicables à tous autres chefs d'industrie qui auront créé en faveur de leurs ouvriers des caisses particulières de secours en conformité du titre III de la loi du 29 juin 1894. L'approbation prévue ci-dessus sera, en ce qui les concerne, donnée par le Ministre du commerce et de l'industrie.

ART. 7. — Indépendamment de l'action résultant de la présente loi, la victime ou ses représentants conservent, contre les auteurs de l'accident autres que le patron ou ses ouvriers et préposés, le droit de réclamer la réparation du préjudice causé, conformément aux règles du droit commun.

L'indemnité qui leur sera allouée exonérera à due concurrence le chef d'entreprise des obligations mises à sa charge.

Cette action contre les tiers responsables pourra même être exercée par le chef d'entreprise, à ses risques et périls, au lieu et place de la victime ou de ses ayants droit, si ceux-ci négligent d'en faire usage.

ART. 8. — Le salaire qui servira de base à la fixation de l'indemnité allouée à l'ouvrier âgé de moins de seize ans ou à l'apprenti victime d'un accident ne sera pas inférieur au salaire le plus bas des ouvriers valides de la même catégorie occupés dans l'entreprise.

Toutefois, dans le cas d'incapacité temporaire, l'indemnité de l'ouvrier âgé de moins de seize ans ne pourra pas dépasser le montant de son salaire.

ART. 9. — Lors du règlement définitif de la rente viagère, après le délai de revision prévu à l'article 19, la victime peut demander que le quart au plus du capital nécessaire à l'établissement de cette rente, calculé d'après les tarifs dressés pour les victimes d'accidents par la caisse des retraites pour la vieillesse, lui soit attribué en espèces.

Elle peut aussi demander que ce capital, ou ce capital réduit du

Digitized by Google

quart au plus comme il vient d'être dit, serve à constituer sur sa tête une rente viagère réversible, pour moitié au plus, sur la tête de son conjoint. Dans ce cas, la rente viagère sera diminuée de façon qu'il ne résulte de la réversibilité aucune augmentation de charges pour le chef d'entreprise.

Le tribunal, en chambre du conseil, statuera sur ces demandes.

ART. 10. — Le salaire servant de base à la fixation des rentes s'entend, pour l'ouvrier occupé dans l'entreprise pendant les douze mois écoulés avant l'accident, de la rémunération effective qui lui a été allouée pendant ce temps, soit en argent, soit en nature.

Pour les ouvriers occupés pendant moins de douze mois avant l'accident, il doit s'entendre de la rémunération effective qu'ils ont reçue depuis leur entrée dans l'entreprise, augmentée de la rémunération moyenne qu'ont reçue, pendant la période nécessaire pour compléter les douze mois, les ouvriers de la même catégorie.

Si le travail n'est pas continu, le salaire annuel est calculé tant d'après la rémunération reçue pendant la période d'activité que d'après le gain de l'ouvrier pendant le reste de l'année.

TITRE II.

DÉCLARATION DES ACCIDENTS ET ENQUÊTE.

ART. 11. — Tout accident ayant occasionné une incapacité de travail doit être déclaré, dans les quarante-huit heures, par le chef d'entreprise ou ses préposés, au maire de la commune qui en dresse procès-verbal.

Cette déclaration doit contenir les noms et adresse des témoins de l'accident. Il y est joint un certificat de médecin indiquant l'état de la victime, les suites probables de l'accident et l'époque à laquelle il sera possible d'en connaître le résultat définitif.

La même déclaration pourra être faite par la victime ou ses représentants.

Récépissé de la déclaration et du certificat du médecin est remis par le maire au déclarant.

Avis de l'accident est donné immédiatement par le maire à l'inspecteur divisionnaire ou départemental du travail ou à l'ingénieur ordinaire des mines chargé de la surveillance de l'entreprise.

Digitized by Google

L'article 15 de la loi du 2 novembre 1892 et l'article 11 de la loi du 12 juin 1893 cessent d'être applicables dans les cas visés par la présente loi.

ART. 12. — Lorsque, d'après le certificat médical, la blessure paraît devoir entraîner la mort ou une incapacité permanente absolue ou partielle de travail, le maire transmet immédiatement copie de la déclaration et le certificat médical au juge de paix du canton où l'accident s'est produit.

Dans les vingt-quatre heures de la réception de cet avis, le juge de paix procède à une enquête à l'effet de rechercher :

1° La cause, la nature et les circonstances de l'accident;

2° Les personnes victimes et le lieu où elles se trouvent;

3° La nature des lésions;

4° Les ayants droit pouvant, le cas échéant, prétendre à une indemnité;

5° Le salaire quotidien et le salaire annuel des victimes.

ART. 13. — L'enquête a lieu contradictoirement dans les formes prescrites par les articles 35, 36, 37, 38 et 39 du Code de procédure civile, en présence des parties intéressées ou celles-ci convoquées d'urgence par lettre recommandée.

Le juge de paix doit se transporter auprès de la victime de l'accident qui se trouve dans l'impossibilité d'assister à l'enquête.

Lorsque le certificat médical ne lui paraîtra pas suffisant, le juge de paix pourra désigner un médecin pour examiner le blessé.

Il peut aussi commettre un expert pour l'assister dans l'enquête.

Il n'y a pas lieu, toutefois, à nomination d'expert dans les entreprises administrativement surveillées, ni dans celles de l'État placées sous le contrôle d'un service distinct du service de gestion, ni dans les établissements nationaux où s'effectuent des travaux que la sécurité publique oblige à tenir secrets. Dans ces divers cas, les fonctionnaires chargés de la surveillance ou du contrôle de ces établissements ou entreprises et, en ce qui concerne les exploitations minières, les délégués à la sécurité des ouvriers mineurs, transmettent au juge de paix, pour être joint au procès-verbal d'enquête, un exemplaire de leur rapport.

Sauf les cas d'impossibilité matérielle dûment constatés dans le

Digitized by Google

procès-verbal, l'enquête doit être close dans le plus bref délai et, au plus tard, dans les dix jours à partir de l'accident. Le juge de paix avertit, par lettre recommandée, les parties de la clôture de l'enquête et du dépôt de la minute au greffe, où elles pourront, pendant un délai de cinq jours, en prendre connaissance et s'en faire délivrer une expédition affranchie du timbre et de l'enregistrement. A l'expiration de ce délai de cinq jours, le dossier de l'enquête est transmis au président du tribunal civil de l'arrondissement.

ART. 14. — Sont punis d'une amende de un à quinze francs (1 à 15^{fr}) les chefs d'industrie ou leurs préposés qui ont contrevenu aux dispositions de l'article 11.

En cas de récidive dans l'année, l'amende peut être élevée de seize à trois cents francs (16 à 300^{fr}).

L'article 463 du Code pénal est applicable aux contraventions prévues par le présent article.

TITRE III.

COMPÉTENCE. — JURIDICTION. — PROCÉDURE. — REVISION.

ART. 15. — Les contestations entre les victimes d'accidents et les chefs d'entreprise, relatives aux frais funéraires, aux frais de maladie ou aux indemnités temporaires, sont jugées en dernier ressort par le juge de paix du canton où l'accident s'est produit, à quelque chiffre que la demande puisse s'élever.

ART. 16. — En ce qui touche les autres indemnités prévues par la présente loi, le président du tribunal de l'arrondissement convoque, dans les cinq jours à partir de la transmission du dossier, la victime ou ses ayants droit et le chef d'entreprise, qui peut se faire représenter.

S'il y a accord des parties intéressées, l'indemnité est définitivement fixée par l'ordonnance du président, qui donne acte de cet accord.

Si l'accord n'a pas lieu, l'affaire est renvoyée devant le tribunal, qui statue comme en matière sommaire, conformément au titre XXIV du livre II du Code de procédure civile.

Si la cause n'est pas en état, le tribunal sursoit à statuer et l'in-

Digitized by Google

demnité temporaire continuera à être servie jusqu'à la décision définitive.

Le tribunal pourra condamner le chef d'entreprise à payer une provision; sa décision sur ce point sera exécutoire nonobstant appel.

ART. 17. — Les jugements rendus en vertu de la présente loi sont susceptibles d'appel selon les règles du droit commun. Toutefois, l'appel devra être interjeté dans les quinze jours de la date du jugement s'il est contradictoire, et, s'il est par défaut, dans la quinzaine à partir du jour où l'opposition ne sera plus recevable.

L'opposition ne sera plus recevable en cas de jugement par défaut contre partie, lorsque le jugement aura été signifié à personne, passé le délai de quinze jours à partir de cette signification.

La cour statuera d'urgence dans le mois de l'acte d'appel. Les parties pourront se pourvoir en cassation.

ART. 18. — L'action en indemnité prévue par la présente loi se prescrit par un an à dater du jour de l'accident.

ART. 19. — La demande en revision de l'indemnité fondée sur une aggravation ou une atténuation de l'infirmité de la victime ou son décès par suite des conséquences de l'accident, est ouverte pendant trois ans à dater de l'accord intervenu entre les parties ou de la décision définitive.

Le titre de pension n'est remis à la victime qu'à l'expiration des trois ans.

ART. 20. — Aucune des indemnités déterminées par la présente loi ne peut être attribuée à la victime qui a intentionnellement provoqué l'accident.

Le tribunal a le droit, s'il est prouvé que l'accident est dû à une faute inexcusable de l'ouvrier, de diminuer la pension fixée au titre I^er^.

Lorsqu'il est prouvé que l'accident est dû à la faute inexcusable du patron ou de ceux qu'il s'est substitués dans la direction, l'indemnité pourra être majorée, mais sans que la rente ou le total des rentes allouées puisse dépasser soit la réduction, soit le montant du salaire annuel.

Digitized by Google

ART. 21. — Les parties peuvent toujours, après détermination du chiffre de l'indemnité due à la victime de l'accident, décider que le service de la pension sera suspendu et remplacé, tant que l'accord subsistera, par tout autre mode de réparation.

Sauf dans le cas prévu à l'article 3, paragraphe A, la pension ne pourra être remplacée par le payement d'un capital que si elle n'est pas supérieure à 100fr.

ART. 22. — Le bénéfice de l'assistance judiciaire est accordé de plein droit, sur le visa du procureur de la République, à la victime de l'accident ou à ses ayants droit, devant le tribunal.

A cet effet, le président du tribunal adresse au procureur de la République, dans les trois jours de la comparution des parties prévue par l'article 16, un extrait de son procès-verbal de non-conciliation; il y joint les pièces de l'affaire.

Le procureur de la République procède comme il est prescrit à l'article 13 (paragraphes 2 et suivants) de la loi du 22 janvier 1851.

Le bénéfice de l'assistance judiciaire s'étend de plein droit aux instances devant le juge de paix, à tous les actes d'exécution mobilière et immobilière, et à toute contestation incidente à l'exécution des décisions judiciaires.

TITRE IV.

GARANTIES.

ART. 23. — La créance de la victime de l'accident ou de ses ayants droit relative aux frais médicaux, pharmaceutiques et funéraires, ainsi qu'aux indemnités allouées à la suite de l'incapacité temporaire de travail, est garantie par le privilège de l'article 2101 du Code civil et y sera inscrite sous le n° 6.

Le payement des indemnités pour incapacité permanente de travail ou accidents suivis de mort est garanti conformément aux dispositions des articles suivants.

ART. 24. — A défaut, soit par les chefs d'entreprise débiteurs, soit par les sociétés d'assurances à primes fixes ou mutuelles, ou les syndicats de garantie liant solidairement tous leurs adhérents, de s'acquitter, au moment de leur exigibilité, des indemnités mises à leur charge à la suite d'accidents ayant entraîné la mort

Digitized by Google

ou une incapacité permanente de travail, le payement en sera assuré aux intéressés par les soins de la caisse nationale des retraites pour la vieillesse, au moyen d'un fonds spécial de garantie constitué comme il va être dit et dont la gestion sera confiée à ladite caisse.

ART. 25. — Pour la constitution du fonds spécial de garantie, il sera ajouté au principal de la contribution des patentes des industriels visés par l'article 1er, quatre centimes (0fr,04) additionnels. Il sera perçu sur les mines une taxe de cinq centimes (0fr,05) par hectare concédé.

Ces taxes pourront, suivant les besoins, être majorées ou réduites par la loi de finances.

ART. 26. — La caisse nationale de retraites exercera un recours contre les chefs d'entreprise débiteurs, pour le compte desquels des sommes auront été payées par elle, conformément aux dispositions qui précèdent.

En cas d'assurance du chef d'entreprise, elle jouira, pour le remboursement de ses avances, du privilège de l'article 2102 du Code civil sur l'indemnité due par l'assureur et n'aura plus de recours contre le chef d'entreprise.

Un règlement d'administration publique déterminera les conditions d'organisation et de fonctionnement du service conféré par les dispositions précédentes à la caisse nationale des retraites et, notamment, les formes du recours à exercer contre les chefs d'entreprise débiteurs ou les sociétés d'assurances et les syndicats de garantie, ainsi que les conditions dans lesquelles les victimes d'accidents ou leurs ayants droit seront admis à réclamer à la caisse le payement de leurs indemnités.

Les décisions judiciaires n'emporteront hypothèque que si elles sont rendues au profit de la caisse des retraites exerçant son recours contre les chefs d'entreprise ou les compagnies d'assurances.

ART. 27. — Les compagnies d'assurances mutuelles ou à primes fixes contre les accidents, françaises ou étrangères, sont soumises à la surveillance et au contrôle de l'État et astreintes à constituer des réserves ou cautionnements dans les conditions déterminées par un règlement d'administration publique.

Digitized by Google

Le montant des réserves ou cautionnements sera affecté par privilège au payement des pensions et indemnités.

Les syndicats de garantie seront soumis à la même surveillance, et un règlement d'administration publique déterminera les conditions de leur création et de leur fonctionnement.

Les frais de toute nature résultant de la surveillance et du contrôle seront couverts au moyen de contributions proportionnelles au montant des réserves ou cautionnements, et fixés annuellement, pour chaque compagnie ou association, par arrêté du Ministre du commerce.

ART. 28. — Le versement du capital représentatif des pensions allouées en vertu de la présente loi ne peut être exigé des débiteurs.

Toutefois les débiteurs qui désireront se libérer en une fois pourront verser le capital représentatif de ces pensions à la caisse nationale des retraites, qui établira à cet effet, dans les six mois de la promulgation de la présente loi, un tarif tenant compte de la mortalité des victimes d'accidents et de leurs ayants droit.

Lorsqu'un chef d'entreprise cesse son industrie, soit volontairement, soit par décès, liquidation judiciaire ou faillite, soit par cession d'établissement, le capital représentatif des pensions à sa charge devient exigible de plein droit et sera versé à la caisse nationale des retraites. Ce capital sera déterminé, au jour de son exigibilité, d'après le tarif visé au paragraphe précédent.

Toutefois, le chef d'entreprise ou ses ayants droit peuvent être exonérés du versement de ce capital, s'ils fournissent des garanties qui seront à déterminer par un règlement d'administration publique.

TITRE V.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

ART. 29. — Les procès-verbaux, certificats, actes de notoriété, significations, jugements et autres actes faits ou rendus en vertu et pour l'exécution de la présente loi, sont délivrés gratuitement, visés pour timbre et enregistrés gratis lorsqu'il y a lieu à la formalité de l'enregistrement.

Dans les six mois de la promulgation de la présente loi, un décret déterminera les émoluments des greffiers de justice de paix pour leur assistance et la rédaction des actes de notoriété, procès-

Digitized by Google

verbaux, certificats, significations, jugement, envois de lettres recommandées, extraits, dépôts de la minute d'enquête au greffe, et pour tous les actes nécessités par l'application de la présente loi, ainsi que les frais de transport auprès des victimes et d'enquête sur place.

ART. 30. — Toute convention contraire à la présente loi est nulle de plein droit.

ART. 31. — Les chefs d'entreprise sont tenus, sous peine d'une amende de un à quinze francs (1 à 15^{fr}), de faire afficher dans chaque atelier la présente loi et les règlements d'administration relatifs à son exécution.

En cas de récidive dans la même année, l'amende sera de seize à cent francs (16 à 100^{fr}).

Les infractions aux dispositions des articles 11 et 31 pourront être constatées par les inspecteurs du travail.

ART. 32. — Il n'est point dérogé aux lois, ordonnances et règlements concernant les pensions des ouvriers, apprentis et journaliers appartenant aux ateliers de la marine et celles des ouvriers immatriculés des manufactures d'armes dépendant du ministère de la guerre.

ART. 33. — La présente loi ne sera applicable que trois mois après la publication officielle des décrets d'administration publique qui doivent en régler l'exécution.

ART. 34. — Un règlement d'administration publique déterminera les conditions dans lesquelles la présente loi pourra être appliquée à l'Algérie et aux colonies.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'État.

Fait à Paris, le 9 avril 1898.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

Le Ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes,
HENRY BOUCHER.

Le Ministre de l'intérieur,
LOUIS BARTHOU.

Le Ministre des travaux publics,
A. TURREL.

Le garde des sceaux, Ministre de la justice et des cultes,
V. MILLIARD.

Digitized by Google

N° 288.

INSTRUCTION PROVISOIRE D

pour l'application dans les établissements militaires de la loi du 9 avril 1898 sur les accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail.

Paris, le 25 mai 1899.

TITRE PREMIER.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

ARTICLE PREMIER. — La loi du 9 avril 1898, sur les accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail, s'applique à tous les ouvriers embauchés et rétribués directement, à un titre quelconque, par l'administration de la guerre, tant dans les arsenaux et ateliers que dans les magasins administratifs et les chantiers de travaux en régie, alors même qu'ils ne seraient pas admis aux bénéfices du décret du 26 février 1897. Dans les Écoles militaires, elle ne s'appliquera qu'aux ouvriers de profession proprement dits et garçons de laboratoire, à l'exclusion des commis, plantons, garçons de salle et employés analogues.

Conformément à l'article 32 de la loi, il n'est point dérogé aux lois et règlements concernant les pensions des ouvriers immatriculés des manufactures d'armes, ou du personnel soumis au régime de la loi du 8 juin 1853 sur les pensions civiles.

La présente instruction ne s'applique donc pas aux accidents dont ce personnel pourrait être victime.

ART. 2. — La loi s'applique seulement *à l'accident* survenu par le fait du travail ou à l'occasion du travail, c'est-à-dire à la conséquence soudaine et manifeste d'un événement imprévu et non à l'évolution lente d'une maladie ou infirmité dont la cause pourrait être attribuée, avec plus ou moins de certitude, aux fatigues et circonstances du service. C'est donc seulement en cas d'accident que les chefs d'établissement (1) devront se conformer aux dispositions de la présente instruction.

(1) Tout ce qui se rapporte, dans la présente instruction, au chef d'établissement s'applique au chef du génie pour les chantiers du génie et à l'officier d'administration gestionnaire pour les magasins du service de l'intendance et du service de santé.

Digitized by Google

Le législateur a intentionnellement écarté de la loi nouvelle les maladies dites *professionnelles*. Si, dans certains cas exceptionnels, les chefs d'établissement croient devoir invoquer en faveur d'un ouvrier une maladie manifestement contractée dans le travail ou à l'occasion du travail, ils devront le faire constater dans les formes prévues par les articles 4 et 13 de la présente instruction et en référer au Ministre, à qui il appartiendra de statuer dans chaque cas particulier, sauf recours au Conseil d'État.

TITRE II.

A. — CONSTATATION DES ACCIDENTS.

ART. 3. — Dès qu'un accident susceptible d'occasionner une incapacité de travail quelconque, temporaire ou permanente, vient à se produire, il doit être établi un certificat d'origine de blessure conforme au modèle n° 13 de l'instruction C pour l'application du décret du 26 février 1897.

Ce certificat relate :

1° La cause, la nature et les circonstances de l'accident;
2° Les noms, la profession et l'âge de la victime;
3° La nature des lésions.

La partie rédigée par les témoins ne doit contenir que la relation complète des faits qu'ils ont vus, en s'abstenant de toute indication médicale technique. C'est au médecin qu'il appartient de mentionner, dans la partie qui lui est réservée, le siège et la nature des lésions. Après avoir décrit minutieusement les lésions immédiates résultant de l'accident invoqué, le médecin devra, pour se conformer au deuxième alinéa de l'article 11 de la loi, indiquer « *les suites probables de l'accident et l'époque à laquelle il sera possible d'en connaître le résultat définitif* », mais il devra se montrer très prudent dans cette appréciation et faire pour l'avenir toutes les réserves utiles.

ART. 4. — Le certificat d'origine doit être établi aussitôt après l'accident; à cet effet, des ordres devront être donnés pour que les chefs d'atelier, chefs d'équipe ou chefs de chantiers signalent immédiatement tout accident qui viendrait à se produire dans leur service, alors même qu'il ne leur paraîtrait pas, au premier abord, devoir entraîner des conséquences sérieuses. Il arrive parfois, en

Digitized by Google

effet, qu'un ouvrier se plaint d'une hernie, d'un phlegmon ou toute autre lésion qu'il rapporte à un accident sans gravité apparente, dont il aurait été victime quelque temps auparavant; il importe de pouvoir contrôler son dire.

Si, par exception, le certificat d'origine ne pouvait être dressé aussitôt après l'accident, il y aurait lieu de le compléter par :

1° L'indication des motifs qui n'ont pas permis de l'établir plus tôt;

2° La situation de l'intéressé depuis l'accident;

3° Les faits et témoignages susceptibles de lui donner le caractère d'authenticité indispensable.

L'action en indemnité étant prescrite par un an à dater du jour de l'accident (article 18 de la loi), il y aura lieu d'opposer un refus formel à l'établissement de tout certificat d'origine demandé après ce délai.

ART. 5. — Quand un même accident aura fait plusieurs victimes, il sera établi un certificat d'origine distinct pour chacune d'elles.

Le certificat sera immédiatement classé dans un bordereau du modèle ci-joint (1). On y classera de même successivement toutes les pièces relatives à l'accident et à ses conséquences pour l'ouvrier : expédition du rapport du chef d'établissement (article 7), certificats de visite et contre-visite (article 13), décisions ministérielles (article 15), jugements rendus (article 17), etc.

On aura ainsi, dans un même document, l'historique complet de l'accident.

Ces bordereaux reçoivent un numéro d'ordre et sont conservés dans un registre spécial; les pièces qui le composent ne devront jamais en être distraites; il ne pourra en être délivré que des copies ou des extraits.

B. — DÉCLARATIONS A FAIRE.

ART. 6. — Conformément à l'article 11 de la loi, tout accident ayant entraîné une incapacité de travail doit être déclaré, dans les quarante-huit heures, au maire de la commune.

---

(1) *Bulletin officiel du Ministère de la guerre*, P. R., 1899.

Digitized by Google

A cet effet, le chef d'établissement adressera immédiatement une déclaration au maire, avec une copie certifiée conforme du certificat d'origine; mais il lui rappellera que, la surveillance des établissements militaires de toute nature incombant exclusivement au Ministre de la guerre, en vertu de la loi du 8-10 juillet 1791 et du décret du 24 décembre 1811, il n'y a pas lieu de donner avis aux inspecteurs du travail.

Le maire devra donner un récépissé de la copie du procès-verbal qui lui aura été remise.

ART. 7. — Lorsque, d'après le certificat médical, la blessure paraît devoir entraîner la mort ou une incapacité permanente absolue ou partielle de travail, le maire transmet immédiatement la copie de la déclaration et le certificat médical au juge de paix, qui doit procéder à une enquête (article 12 de la loi) et la transmettre au président du tribunal.

Pour faciliter cette enquête et conformément au cinquième alinéa de l'article 13, le chef d'établissement adressera directement un rapport circonstancié au juge de paix.

Ce rapport indiquera si l'accident est une conséquence fortuite des risques professionnels ou fera ressortir d'une façon précise les responsabilités engagées, s'il en existe, de manière à pouvoir soit mettre les tiers en cause (article 7 de la loi), soit faire toutes réserves utiles au sujet du calcul des indemnités à allouer (article 20 de la loi).

En cas de décès, le rapport devra mentionner la situation de famille de la victime et les ayants droit connus susceptibles de bénéficier des dispositions de l'article 3, paragraphes A, B, C, de la loi.

ART. 8. — On remarquera que la loi n'assigne aucun délai au président du tribunal pour constater l'accord intervenu entre les parties, ni au tribunal pour statuer sur l'indemnité en cas de désaccord, et il est de l'intérêt de tous de ne considérer la cause comme réellement en état que lorsqu'il sera possible de se prononcer sur les conséquences de l'accident.

Le chef de l'établissement spécifiera donc dans son rapport que, conformément aux instructions ministérielles et au paragraphe 4 de l'article 16 de la loi, l'intéressé recevra une indemnité tempo-

Digitized by Google

raire égale à la moitié de son salaire jusqu'au règlement de l'indemnité qui lui sera allouée, et il insistera pour que le président, ou le tribunal, suivant le cas, veuille bien surseoir à statuer jusqu'au jour où l'état de santé de l'ouvrier permettra d'apprécier l'incapacité dont il doit rester atteint.

ART. 9. — Si, après avoir reçu le dossier relatif à l'accident, ou avoir été saisi directement par l'ouvrier intéressé, le juge de paix ou le président du tribunal juge à propos, pour procéder à un complément d'enquête, de convoquer le chef d'établissement, celui-ci devra répondre à la convocation, soit directement, soit par un représentant, et fournir tous les renseignements demandés.

Il facilitera de même la comparution de tout le personnel sous ses ordres que le juge désirerait entendre; mais, conformément au paragraphe 5 de l'article 13, il ne devra autoriser l'entrée de l'établissement qu'après en avoir référé au Ministre (Direction d'arme).

TITRE III.

FIXATION DES INDEMNITÉS.

A. — Incapacité temporaire.

ART. 10. — En cas d'incapacité temporaire de travail, l'ouvrier a droit, conformément à l'article 3 de la loi, à une indemnité journalière égale à la moitié du salaire touché au moment de l'accident, si l'incapacité de travail a duré plus de quatre jours et à partir du cinquième jour.

Par mesure de bienveillance, le demi-salaire sera alloué dès le lendemain de l'accident; il se continuera jusqu'au jour où l'ouvrier pourra reprendre son travail; toutefois, cette allocation ne pourra être prolongée au delà de six mois sans en référer au Ministre, qui décidera s'il y a lieu de la continuer ou si l'ouvrier doit être considéré comme atteint d'incapacité permanente.

Si, dans certains cas spéciaux, les chefs d'établissement jugeaient à propos d'allouer aux ouvriers une indemnité journalière supérieure au demi-salaire, ils devraient en faire au Ministre la proposition motivée.

En outre, les soins médicaux gratuits seront donnés conformément à l'instruction C pour l'application du décret du 26 février 1897.

Digitized by Google

Les dispositions nécessaires à cet effet seront prises avant l'ouverture des chantiers temporaires de travaux de construction exécutés en régie, auxquels le décret du 26 février 1897 n'est pas applicable dans son ensemble, en se référant, par analogie, aux prescriptions de l'article 4 de l'instruction précitée et en organisant immédiatement la visite médicale d'admission dans les conditions prévues à l'article 2 de ladite instruction.

Cette visite ne devra pas toutefois entraîner, comme conséquence, la non-acceptation des candidats. Les prédispositions constitutionnelles qui pourraient être constatées chez eux ne sauraient, en effet, suffire à motiver cette élimination, en raison du caractère essentiellement transitoire et momentané de leur emploi sur les chantiers dont il s'agit.

ART. 11. — Si l'ouvrier blessé reprend son travail avant d'être complètement rétabli et ne peut, par suite de circonstances exceptionnelles, recevoir le même salaire qu'avant l'accident, il lui sera alloué une indemnité journalière égale à la demi-différence entre son salaire actuel et le salaire qu'il gagnait avant l'accident.

Cette indemnité sera supprimée dès que l'ouvrier aura recouvré son salaire normal.

ART. 12. — Les contestations relatives aux frais de maladie et aux indemnités temporaires seront sans doute extrêmement rares. Dans le cas où elles viendraient à se produire, elles doivent être jugées en dernier ressort par le juge de paix du canton où l'accident s'est produit, quel que soit le chiffre de la demande (article 15 de la loi).

C'est au chef de l'établissement qu'il appartiendra d'intervenir soit comme demandeur, soit comme défendeur, sans qu'il ait besoin pour cela d'une autorisation préalable du Ministre.

B. — Incapacité permanente.

ART. 13. — Dans le cas d'incapacité permanente, aussitôt que le médecin traitant jugera possible d'établir un certificat définitif, et au plus tard dans le sixième mois qui suivra l'accident, il sera procédé à un examen de l'ouvrier blessé par deux médecins, dont l'un sera le médecin traitant, et l'autre sera, à moins d'exception

Digitized by Google

soumise au Ministre, un médecin militaire désigné par le commandant d'armes.

Ils établiront, l'un, un certificat de visite modèle 14 de l'instruction C pour l'application du décret du 26 février 1897 et l'autre, un certificat de contre-visite modèle 14 *bis*.

Le chef d'établissement devra assister à la visite ou s'y faire représenter.

Après avoir pris connaissance du certificat d'origine, les médecins devront examiner l'ouvrier :

1° Au point de vue de la gravité des lésions :

Ils s'attachent à décrire d'une manière détaillée le siège et la nature de l'affection, en insistant avec le plus grand soin sur les altérations organiques, de façon à permettre, aux personnes appelées à émettre leur opinion sur le vu des pièces, d'avoir sous les yeux un tableau aussi exact que possible.

Ils donnent des mensurations précises, des indications nettes sur la forme, le volume, la force, la situation du membre ou de la partie du corps soumis à leur examen. Toutes les fois que les circonstances le permettent, ils procèdent à une nouvelle exploration des organes des sens directement intéressés et en consignent le résultat dans cette partie du certificat.

2° Au point de vue de la relation de cause à effet :

Ils s'attachent à établir, en s'appuyant sur les données anatomiques, si le fait rapporté par le certificat d'origine est bien, médicalement parlant, le point de départ de l'infirmité qu'ils ont mission d'apprécier.

3° Au point de vue de l'impotence fonctionnelle :

Bien que la loi du 19 avril 1898 n'emploie que le terme *réduction de salaire,* il est évident qu'elle a voulu en réalité viser la *réduction de capacité de travail.*

Les médecins s'attacheront donc à faire ressortir la diminution de capacité de travail subie par l'intéressé, évaluée autant que possible en fraction de sa capacité normale, telle qu'elle existait avant l'accident. Ils tiendront compte pour cette appréciation, d'ailleurs très délicate, des indications fournies sur l'ouvrier par le registre médical d'admission modèle n° 8 de l'instruction C.

Les certificats de visite et de contre-visite sont établis en double expédition, dont une doit rester aux archives de l'établissement.

Digitized by Google

ART. 14. — Dès que les certificats médicaux ont pu être établis, le chef de l'établissement adresse au Ministre (Direction du Contentieux) :

1° Une copie du certificat d'origine;

2° Une copie du rapport qu'il a établi en vertu de l'article 7 de la présente instruction;

3° Une expédition des certificats de visite et de contre-visite;

4° Une note faisant ressortir le salaire gagné par l'ouvrier avant l'accident, tel qu'il est défini aux articles 8 et 10 de la loi; le salaire qu'il sera encore susceptible de gagner à l'établissement s'il y est conservé; celui qu'il pourrait encore vraisemblablement gagner dans l'industrie civile, et ses propositions au sujet de l'indemnité à allouer conformément aux paragraphes 1 et 2 de l'article 3 de la loi.

Il est bon de rappeler que la loi n'est applicable aux salaires supérieurs à 2,400^{fr} que jusqu'à concurrence de cette somme, le surplus ne donnant droit qu'au quart des rentes stipulées à l'article 3 de la loi.

ART. 15. — Après avoir pris, s'il y a lieu, l'avis du comité technique de santé, le Ministre fixe l'indemnité viagère qu'il juge devoir être offerte à l'ouvrier et retourne au chef d'établissement le dossier communiqué.

Celui-ci fait aussitôt connaître à l'ouvrier la décision du Ministre; en cas d'acceptation, il en retire un reçu; en cas contraire, il se fait donner un refus écrit ou fait dresser procès-verbal par l'agent qui a notifié à l'intéressé la décision du Ministre.

Le dossier ainsi complété est adressé dans le plus bref délai au président du tribunal, qui, suivant le cas, donne acte de l'accord ou saisit le tribunal, conformément au troisième alinéa de l'article 16 de la loi.

ART. 16. — Il serait possible que, malgré la demande adressée par le chef d'établissement, le président ou le tribunal, suivant le cas, voulussent statuer conformément aux droits que leur confère l'article 16 de la loi, avant que le Ministre ait pu se prononcer comme il est dit à l'article précédent.

Digitized by Google

Dans ce cas, le chef d'établissement devra faire établir d'urgence les pièces du dossier énumérées à l'article 14 sous les nos 3 et 4 et les adresser au président du tribunal en même temps qu'il en fera parvenir une autre expédition au Ministre.

Il s'efforcera de nouveau d'obtenir la remise de l'affaire, et, s'il ne peut réussir, il évitera de faire ou d'accepter aucune offre, de manière à laisser au Ministre toute latitude en cas d'appel.

Art. 17. — Dans tous les cas, dès que le président a donné acte de l'accord intervenu avec l'ouvrier, ou dès que le tribunal a fixé l'indemnité allouée, le chef d'établissement en informe le Ministre (Direction du Contentieux) en donnant son avis sur l'opportunité de faire appel de la décision du tribunal (article 17 de la loi). Il y joint toutes les indications nécessaires.

Art. 18. — Lorsqu'il y aura lieu de mettre la responsabilité des tiers en cause, le Ministre, en renvoyant au chef d'établissement le dossier de l'affaire conformément à l'article 15 de l'instruction, lui donnera les indications nécessaires pour les instances à ouvrir.

Il en sera de même en cas d'appel.

Art. 19. — Lorsque le tribunal aura reconnu que la victime a intentionnellement provoqué l'accident ou a commis une faute inexcusable, il appartiendra au chef d'établissement de prendre, à l'égard de l'ouvrier, les mesures disciplinaires qu'il jugera utiles.

Art. 20. — Dès que la rente viagère aura été attribuée à l'ouvrier, il cessera de recevoir les soins médicaux gratuits, à moins qu'il ne soit conservé dans l'établissement, comme il sera dit à l'article 23.

C. — Décès.

Art. 21. — En cas de décès d'un ouvrier par suite d'un accident, il y aura lieu, si le décès n'est pas survenu immédiatement, de faire établir les certificats médicaux comme il est prescrit à l'article 13 de l'instruction, pour faire constater que le décès résulte réellement de l'accident. Conformément à l'article 19 de la loi, si le décès se produit plus de trois ans après l'accord ou le jugement intervenus, il ne saurait établir de droit pour les héritiers.

Digitized by Google

Le chef d'établissement se conformera du reste pour l'établissement et les transmissions du dossier aux prescriptions des articles précédents, mais la note prévue au paragraphe 4 de l'article 14 de l'instruction devra donner les noms et prénoms de tous les ayants droit avec tous actes de l'état civil nécessaires pour justifier leurs droits (1).

Les frais funéraires sont à la charge de l'État jusqu'à concurrence du chiffre maximum de 100fr, conformément à l'article 4 de la loi.

DÉLAIS DE PRESCRIPTION.

ART. 22. — Aux termes de l'article 18 de la loi, l'action en indemnité se prescrit par un an à dater du jour de l'accident. Il ne peut être évidemment question ici que de l'indemnité viagère résultant d'une incapacité permanente de travail, puisque l'indemnité temporaire est payée immédiatement dans les jours de chômage qui suivent l'accident.

Par suite, tout ouvrier qui se dira victime d'un accident ayant ou non entraîné l'allocation d'une indemnité temporaire pourra, dans l'année qui suivra l'accident, demander une indemnité viagère basée sur une incapacité permanente, totale ou partielle.

Si l'accident a été régulièrement constaté par procès-verbal, le chef d'établissement agira comme il est dit aux articles 13 et suivants.

Si, au contraire, l'accident n'a pas été régulièrement constaté au moment où il s'est produit, il appartiendra à l'ouvrier de faire la preuve que l'accident a réellement eu lieu, et c'est seulement lorsque cette preuve aura été faite et le certificat d'origine établi qu'il sera donné suite à l'examen de la demande dans les formes ordinaires.

MAINTIEN DE L'OUVRIER DANS L'ÉTABLISSEMENT.

ART. 23. — Aux termes de l'article 21 de la loi, les parties

(1) Les actes d'état civil à produire sont : acte de mariage, acte de décès de la victime, actes de naissance des enfants mineurs *au-dessous de* 16 *ans*, pour la justification des droits de la veuve et des enfants mineurs; actes de naissance et de décès de la victime pour la justification des droits des ascendants; actes de naissance établissant la descendance des petits-enfants pour la justification des droits des descendants. Ces actes pourront être produits sur papier libre et être, en cas d'impossibilité absolue, suppléés par des actes de notoriété.

Digitized by Google

peuvent toujours, après détermination du chiffre de l'indemnité due à la victime de l'accident, décider que le service de la pension sera suspendu et remplacé, tant que l'accord subsistera, par tout autre mode de réparation.

Le mode de réparation le plus moral et en même temps le plus avantageux pour l'ouvrier sera évidemment d'être conservé au service de l'État, tant qu'il paraîtra susceptible d'y rendre des services. Mais on ne doit pas perdre de vue que la loi actuelle, dérogeant aux conditions générales du droit commun, constitue entre l'ouvrier et le chef d'entreprise un véritable compromis, d'après lequel : 1° d'une part, tout accident considéré comme le fait d'un risque professionnel donne droit à une indemnité alors même qu'il n'y a pas faute du chef d'entreprise, et 2° d'autre part, l'indemnité est calculée, non d'après le préjudice réel, mais exclusivement d'après la diminution de salaire.

Il est par suite légitime que, si d'un commun accord l'ouvrier reste au service du chef d'entreprise, celui-ci ne paye qu'une indemnité proportionnée au salaire qu'il maintient à l'ouvrier après l'accident.

En conséquence, tout ouvrier victime d'un accident pourra, s'il le désire, et si le chef d'établissement le juge possible, être conservé dans l'établissement après la détermination du chiffre de l'indemnité qui lui est due, fixée comme il est dit plus haut.

On pourrait n'allouer à l'ouvrier ainsi conservé que le salaire ayant servi de base à la liquidation de son indemnité, mais il paraît préférable de lui attribuer un salaire conforme aux services qu'il est capable de rendre, et de ramener, pendant son séjour à l'établissement, l'indemnité viagère à la moitié de la réduction que le salaire (1) aura réellement subie.

On évitera ainsi d'avoir des ouvriers embauchés à des taux différents pour des services analogues, et l'on respectera mieux la spécialité des crédits budgétaires tout en sauvegardant davantage l'intérêt des ouvriers.

---

(1) Dans le cas de travail à la pièce, le salaire dont il est ici question sera le salaire normal auquel l'ouvrier est embauché; il appartiendra aux chefs d'établissement de l'établir de manière qu'il s'écarte le moins possible du gain réalisé par l'ouvrier.

Digitized by Google

On opérera de même lorsqu'un ouvrier en possession d'une rente viagère par suite d'un accident de travail survenu dans un établissement de la guerre demandera à être embauché de nouveau, soit dans le même établissement, soit dans un autre.

Ces réductions seront faites conformément aux dispositions des articles 31, 33 et 34 qui suivent.

L'ouvrier devra acquiescer par écrit à ces conditions, sinon il sera licencié ou ne sera pas embauché, suivant le cas.

REVISION DE L'INDEMNITÉ.

ART. 24. — Aux termes de l'article 19 de la loi, la demande en revision de l'indemnité, fondée sur une aggravation ou une atténuation de l'infirmité de la victime ou son décès par suite des conséquences de l'accident, est ouverte pendant trois ans à dater de l'accord intervenu entre les parties ou de la décision du tribunal.

Pour l'application de cet article, il y aura lieu de se conformer aux dispositions suivantes.

ART. 25. — Dans les six derniers mois de la troisième année, le Ministre adresse, par l'intermédiaire du général commandant le corps d'armée, le dossier de l'intéressé au général commandant la subdivision de son domicile.

Le général convoque l'ouvrier à l'hôpital de la ville de garnison la plus rapprochée et désigne deux médecins militaires pour procéder à son examen.

En cas d'insuffisance de médecins militaires, l'un des deux pourra être un médecin civil de la localité.

Si l'ouvrier est présent dans un établissement, il appartiendra au chef de l'établissement de provoquer la convocation et de faire parvenir le dossier.

Les certificats médicaux sont établis en double expédition, conformément aux dispositions de l'article 13 de la présente instruction; une expédition est adressée au Ministre (Direction du Contentieux) et l'autre au chef d'établissement où l'accident s'est produit, par l'intermédiaire du général commandant le corps d'armée.

Digitized by Google

ART. 26. — En dehors de cette visite obligatoire, le Ministre pourra toujours, si l'ouvrier a été signalé comme guéri, le faire visiter à telle époque qu'il jugera convenable dans la limite du délai de trois ans imparti à l'article 19 de la loi.

Il pourra de même faire procéder par la gendarmerie à toute enquête utile.

ART. 27. — S'il y a lieu à revision, ou si l'ouvrier convoqué ne s'est pas présenté à l'effet de se faire examiner, le Ministre (Direction du Contentieux) donnera les instructions nécessaires pour le faire assigner devant le juge de son domicile.

Si la revision est demandée par l'ouvrier, le chef d'établissement saisi soit par l'intéressé, soit par le tribunal, en référera immédiatement au Ministre (Direction du Contentieux).

Dans le cas où il serait assigné avant d'avoir reçu du Ministre les instructions nécessaires, le chef d'établissement se conformera au dernier alinéa de l'article 16.

PAYEMENT DES INDEMNITÉS.

A. — Incapacité temporaire.

ART. 28. — Les indemnités attribuées aux ouvriers en cas d'incapacité temporaire sont payées aux ouvriers dans les mêmes conditions que le salaire habituel, et la dépense est supportée par le budget du service.

ART. 29. — Les soins médicaux seront aussi supportés par le budget du service dans les conditions prévues à l'instruction C pour l'application du décret du 26 février 1897, et cela quelle que soit la nature de l'incapacité.

B. — Incapacité permanente.

ART. 30. — Les indemnités temporaires payées à l'ouvrier en conformité de l'article 15 de la loi jusqu'au règlement définitif de la rente viagère à laquelle il a droit, seront aussi payées comme le salaire et supportées par le budget du service.

ART. 31. — Dès le règlement provisoire de la rente viagère, deux cas peuvent se présenter :

a. L'ouvrier est conservé à l'établissement. Dans ce cas, l'in-

Digitized by Google

demnité qui lui est allouée, conformément à l'article 23 (cinquième alinéa), lui sera payée par les soins de l'établissement dans les mêmes conditions que le salaire, mais sur des états d'émargement spéciaux. Ces indemnités ne donneront lieu à aucun versement à la caisse nationale des retraites.

En fin d'année, chaque établissement dressera l'état nominatif des sommes ainsi payées dans le courant de l'exercice et l'adressera au Ministre (Direction d'arme) avec une expédition des états émargés. Chaque direction dressera un état récapitulatif comprenant l'ensemble de ses établissements et le remettra à la direction du contentieux et de la justice militaire, qui, après vérification, assurera le remboursement par les crédits du chapitre de la justice militaire aux divers chapitres qui ont supporté la dépense.

b. L'ouvrier quitte l'établissement. Dans ce cas il lui sera remis par le Ministre (Direction du Contentieux) un titre de rente provisoire payable trimestriellement par les soins de la caisse des dépôts et consignations dans les mêmes conditions que les pensions ou secours viagers réglés en conformité du décret du 26 février 1897.

Art. 32. — A l'expiration du délai de trois ans prévu à l'article 19 de la loi, la rente viagère, revisée ou non, devient définitive et ne peut plus donner lieu à revision.

L'ouvrier doit être mis en demeure de faire connaître par écrit s'il entend bénéficier des dispositions de l'article 9 de la loi, et dans l'affirmative il lui appartiendra de produire l'autorisation du tribunal, conformément au dernier alinéa de cet article 9.

Il peut aussi, sans autorisation du tribunal, demander que le capital de la rente lui soit attribué lorsque cette rente est inférieure à 100^{fr}.

Dans ces divers cas, la direction du contentieux fait ordonnancer au profit de l'ouvrier le capital qui lui revient et liquide la rente (rente viagère ordinaire ou rente viagère reversible) à laquelle il a droit.

Le titre de rente viagère remis à l'ouvrier est payé par la caisse des dépôts et consignations dans les mêmes conditions que les pensions ou secours viagers réglés en conformité du décret du 26 février 1897.

Digitized by Google

Ces dispositions s'appliquent aussi bien aux ouvriers conservés dans l'établissement qu'à ceux qui l'auront quitté.

ART. 33. — Si l'ouvrier reste dans l'établissement et que son salaire soit supérieur à celui qui a servi de base à la fixation de l'indemnité, il devra, conformément à l'article 23 de l'instruction, consentir sur son salaire une retenue égale à la moitié de la différence entre ces deux salaires.

Soient

S le salaire qu'il avait avant l'accident,

S^1 le salaire ayant servi de base au calcul de l'indemnité après l'accident,

S^2 le salaire payé à l'ouvrier, supposé supérieur au précédent S^1.

L'indemnité à laquelle il pourrait légitimement prétendre est

$$\frac{S - S^2}{2}.$$

Il lui a été alloué

$$\frac{S - S^1}{2}.$$

La retenue à lui faire subir sera

$$\frac{S - S^1}{2} - \frac{S - S^2}{2} - \frac{S^2 - S^1}{2}.$$

On opérera de même pour les ouvriers déjà titulaires d'une rente viagère embauchés dans les conditions de l'article 23 de l'instruction.

ART. 34. — Les retenues prévues à l'article précédent seront opérées, selon les cas, par quinzaine ou par mois sur le salaire de l'ouvrier; elles figureront dans une colonne à part sur les états de payement ou sur les états récapitulatifs.

Les versements à la caisse de la vieillesse pourront s'exercer, soit sur le salaire brut, soit sur le salaire réduit, suivant la demande qu'en fera l'intéressé; la part contributive de l'État sera toujours égale au versement de l'ouvrier.

Pour éviter des complications d'écritures, il pourra être préférable de comprendre tous les ouvriers de cette catégorie sur un même état, quel que soit l'atelier auquel ils appartiennent.

Digitized by Google

L'état des retenues ainsi exercées est adressé annuellement au Ministre (Direction d'arme); ces états sont récapitulés par service et les sommes sont rétablies au crédit de la justice militaire, qui a supporté le payement des rentes viagères.

ART. 35. — Il est à remarquer que, dans le cas d'incapacité absolue et permanente, la victime a droit à une rente égale aux deux tiers de son salaire annuel et que, en conformité de l'avant-dernier alinéa de l'article 16 de la loi, il ne lui a été attribué que la moitié de ce salaire depuis le jour de l'accident jusqu'au jour de la décision intervenue.

Le rappel de la différence sera mandaté à l'intéressé par les soins et sur les fonds de la justice militaire.

ART. 36. — En cas d'incapacité absolue et permanente dûment constatée sans qu'il soit possible d'espérer une amélioration quelconque, perte des deux yeux, amputation de deux membres, etc., le Ministre pourra délivrer le titre de rente viagère définitif sans attendre le délai de trois ans.

C. — Décès.

ART. 37. — En cas de décès résultant de l'accident et survenu dans les délais impartis à l'article 19 de la loi, les ayants droit prévus à l'article 3 recevront, par les soins de la direction du contentieux, un titre de rente permanent pour le conjoint et les ascendants, temporaire pour les enfants et descendants, payable par la caisse des dépôts et consignations dans les conditions habituelles. Le titre délivré au conjoint mentionnera qu'en cas de nouveau mariage, la rente cessera d'être payée et qu'il sera alloué, dans ce cas, le triple de cette rente à titre d'indemnité totale.

ABROGATIONS DE CERTAINES DISPOSITIONS DU DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1897.

Pension d'invalidité.

ART. 38. — La loi actuelle modifiant toutes les dispositions antérieures, les pensions d'invalidité prévues à l'article 11 du décret du 26 février 1897 cesseront d'être applicables aux accidents du travail.

Par suite, lorsqu'un commissionné ou auxiliaire victime d'un

Digitized by Google

accident ayant donné lieu à la constitution d'une rente viagère demandera à faire liquider sa pension d'invalidité dans les conditions de l'article 11 du décret précité, l'État n'aura plus à compléter, jusqu'à 500^{fr} pour les hommes et 360^{fr} pour les femmes, la pension provenant des versements à la caisse nationale des retraites.

Toutefois, ce complément sera payé si les deux rentes viagères réunies n'atteignent pas ce chiffre et jusqu'à concurrence de ce chiffre.

Pension de veuve.

ART. 39. — Lorsque la veuve d'un ouvrier décédé à la suite d'un accident fera liquider la pension à laquelle elle a droit en vertu de l'article 12 du décret du 26 février 1897, le complément prévu à cet article ne lui sera attribué que si les deux rentes réunies n'atteignent pas le chiffre de trois cent soixante francs et jusqu'à concurrence de ce chiffre.

En cas de nouveau mariage, la veuve cesse d'avoir droit à la retraite prévue par la loi du 9 avril 1898 et il lui est alloué à titre d'indemnité totale le triple de cette rente. Par suite, trois ans après son second mariage, la veuve pourra réclamer le complément de rente total prévu à l'article 12 du décret du 26 février 1897, puisqu'il a été admis que la pension de veuve énoncée dans ce décret n'était pas révocable par un nouveau mariage.

Pension d'orphelin.

ART. 40. — Il ne sera provisoirement rien changé aux dispositions du décret du 26 février 1897 en ce qui concerne les secours aux orphelins.

ART. 41. — Les dispositions de l'article 20 du décret du 26 février 1897 deviennent sans objet.

Digitized by Google

N° 289.

CIRCULAIRE

concernant les précautions à prendre pour l'installation des conducteurs d'électricité passant dans le voisinage ou pénétrant à l'intérieur des magasins à poudre, à munitions ou à explosifs.

Paris, le 26 mai 1899.

Messieurs, l'Académie des Sciences, consultée par l'un de mes prédécesseurs, a indiqué les précautions qui lui paraissaient utiles à prendre dans l'installation des conducteurs d'électricité qui passent dans le voisinage ou pénètrent à l'intérieur des magasins à poudre ou à explosifs.

Je vous préviens que les dispositions indiquées plus loin, conformes à l'avis de l'Académie et concertées, d'autre part, avec mon collègue du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes, devront être appliquées à l'avenir aux magasins à poudre, à munitions (cartouches, gargousses, projectiles chargés) ou à explosifs, dépendant du département de la guerre.

Mais, pour l'application de ces dispositions, il est essentiel de bien définir, tout d'abord, ce qu'il faut entendre par *limites* des magasins en question.

Les limites des magasins à poudre, à munitions ou à explosifs, sont, en général, marquées par le mur d'enceinte spécial qui les entoure.

Lorsque ce mur n'existe pas ou n'existe que sur une partie du périmètre, on doit considérer comme limites des magasins, sur les faces où il n'existe pas :

1° Le pied du talus du massif de terre qui les recouvre lorsque les locaux sont enterrés;

2° Les points où émergent les gaines ou couloirs qui les mettent en communication avec l'extérieur, lorsque les locaux sont souterrains.

Par rapport à l'objet de la présente circulaire deux zones seront à considérer; elles commencent toutes deux aux limites du magasin et s'étendent aux distances de 10 mètres pour la première et de 20 mètres pour la deuxième.

On n'admettra dans le voisinage des magasins et à plus forte

Digitized by Google

raison à l'intérieur que des conducteurs d'électricité en parfait état d'installation.

RÈGLES.

I. — Conducteurs d'électricité étrangers au service des magasins.

Tout conducteur d'électricité, quel qu'il soit, étranger au service d'un magasin doit être tenu entièrement en dehors de la première zone (10 mètres), si ce conducteur est souterrain, et entièrement en dehors de la deuxième zone (20 mètres), s'il est aérien.

II. — Conducteurs d'électricité destinés au service des magasins.

Dans le cas où il est reconnu nécessaire d'organiser des installations électriques pour le service même des magasins, les conducteurs d'électricité correspondants seront établis conformément aux dispositions suivantes :

A. — *Conducteurs servant à la transmission des signaux et de la parole* (lignes des appareils télégraphiques ou téléphoniques, des sonneries électriques, etc.). — Ces conducteurs pourront être amenés jusqu'à une distance de 4 mètres du local lui-même où sont déposées les substances explosives. A cette extrémité de la ligne, on devra placer un parafoudre pourvu d'une parfaite communication avec le sol (paratonnerre à fil fusible désigné dans la nomenclature du matériel de l'administration des postes et des télégraphes sous la rubrique *paratonnerre à une bobine sans pointes,* ou appareil d'un fonctionnement analogue). Depuis cette extrémité jusqu'à la limite de la deuxième zone (20 mètres), les conducteurs devront toujours être souterrains.

A partir de cette dernière limite, si les conducteurs continuent à être souterrains, aucune autre disposition spéciale n'est à prendre.

S'ils deviennent aériens, des paratonnerres Bertsch ou appareils d'un fonctionnement analogue seront intercalés aux points de raccordement. De plus, les poteaux des lignes aériennes seront munis tous les 100 mètres de paratonnerres analogues à ceux employés dans certains cas par l'administration des postes et télégraphes (fil de fer de 4^{mm} en communication parfaite avec le sol, fixé le long du poteau et le dépassant de 10^{cm} pour former pointe); en outre, on installera un nouveau parafoudre à l'extrémité de la ligne aérienne opposée au magasin.

Dans le cas où les conducteurs d'électricité seront destinés à desservir seulement des sonneries d'avertissement, les parafoudres susvisés seront remplacés par des paratonnerres Bertsch (ou des appareils similaires).

B. — *Conducteurs autres que les précédents* (lignes desservant les

Digitized by Google

appareils de lumière électrique, transports de force, etc.). — Ces conducteurs devront toujours être souterrains sur tout leur parcours et à quelque distance que ce soit des magasins.

Les dispositions relatives à leur installation à l'intérieur des locaux sont contenues dans l'instruction spéciale concernant l'éclairage des magasins à poudre souterrains (1).

Il ne sera fait usage en tout cas que de courants à basse tension, c'est-à-dire des courants continus utilisant des tensions inférieures ou égales à 600 volts ou des courants alternatifs utilisant des tensions maxima efficaces inférieures ou égales à 120 volts. Dans la distribution intérieure, la tension ne devra d'ailleurs pas dépasser 110 volts.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

Les règles générales qui précèdent ne sont impérativement applicables qu'aux magasins à poudre, à munitions ou à explosifs, proprement dits, sauf celles comprises dans le paragraphe I qui sont strictement applicables également aux poudreries, c'est-à-dire à tout établissement où se fabriquent des poudres et explosifs.

Ces règles générales ne seront observées, d'autre part, que dans la mesure du possible, lorsqu'il s'agira des petits dépôts d'explosifs ou artifices où s'approvisionnent les ateliers pendant le travail, des salles d'artifices et en général des locaux de toute nature destinés à la fabrication, confection ou manipulation des poudres, explosifs, munitions ou artifices.

Dans toute cette catégorie d'installations les conducteurs d'électricité pourront être établis suivant les besoins du service, mais on devra prendre des précautions particulières pour éviter que la rupture fortuite de conducteurs aériens ne puisse produire des enchevêtrements dangereux et causer des accidents.

Sont abrogées les dispositions contraires à la présente circulaire et celles contenues dans la circulaire ministérielle du 28 décembre 1858.

C. KRANTZ.

---

(1) Cette instruction est actuellement celle du 10 juin 1893 (instruction destinée à guider les représentants locaux des services de l'artillerie et du génie pour l'établissement des procès-verbaux concernant l'éclairage des magasins à poudre cavernes). Elle prévoit l'éclairage à l'huile ou l'éclairage électrique.

Toute la partie concernant l'éclairage électrique va être d'ailleurs modifiée pour tenir compte des indications données dans l'avis de l'Académie des Sciences.

Digitized by Google

N° 290.

DÉCRET

fixant les prix de vente du coton azotique.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897;
Sur la proposition des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Les prix du coton azotique que la Régie des contributions indirectes est autorisée à livrer pour la consommation intérieure sont fixés ainsi qu'il suit :

Coton azotique..

Pour dynamite.....	N° 1.	— 4fr,50 le kilogramme.
	N° 2.	— 3fr,00 le kilogramme.
Pour usages autres que celui de la dynamite.....	N° 3.	— 10fr,00 le kilogramme.
	N° 4.	— 5fr,25 le kilogramme.

ART. 2. — Les Ministres des finances et de la guerre sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* et inséré au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 31 mai 1899.

ÉMILE LOUBET.

Par le Président de la République :

Le Ministre de la guerre, C. KRANTZ.

Le Ministre des finances, P. PEYTRAL.

N° 291.

TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES OU INFECTES.

Quatrième modification au Règlement du 12 novembre 1897.

Paris, le 12 août 1899.

A MESSIEURS LES ADMINISTRATEURS DES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER.

Messieurs, d'après l'avis de la Commission d'examen des questions se rattachant à l'application du règlement du 12 novembre 1897, relatif au transport par voie ferrée des matières dangereuses ou infectes, j'ai décidé de modifier ce règlement en ce qui touche

Digitized by Google

l'acide fluorhydrique et d'en retrancher les dispositions qui y ont été introduites par la circulaire ministérielle du 25 février 1899, au sujet des graisses fraîches, lesquelles ne seront plus classées.

I. — ACIDE FLUORHYDRIQUE.

L'acide fluorhydrique anhydre n'étant jamais expédié qu'en très faibles quantités pour les laboratoires et pouvant être compris implicitement sous la rubrique *Produits de droguerie et produits pharmaceutiques au détail,* il n'est pas nécessaire de le mentionner explicitement. Quant à l'acide fluorhydrique hydraté, il convient de le classer dans la quatrième catégorie.

En conséquence, les mots *acide fluorhydrique* seront rayés du paragraphe *b* de l'article 3 et ajoutés au paragraphe *d* (vingt-troisième alinéa) du même article, après ceux de *acide muriatique ou chlorhydrique.*

L'article 67 sera supprimé.

Les mots *acide fluorhydrique* seront intercalés dans le titre de l'article 118, après ceux de *acide muriatique* et la rédaction suivante sera substituée à celle du premier alinéa de cet article :

« ART. 118. — Les liquides acides ou caustiques, tels que l'acide sulfurique du commerce, l'esprit de vitriol, l'acide muriatique ou chlorhydrique, l'acide fluorhydrique, les acides goudronneux et les fèces acides des raffineries d'huiles, les lessives caustiques de potasse ou de soude, le chlorure de soufre, à moins d'être transportés dans des wagons spéciaux, ou dans des fûts ou bidons parfaitement étanches et hermétiquement fermés, doivent être contenus dans des bouteilles ou dans des bonbonnes bien bouchées; ces récipients seront en plomb ou en gutta-percha pour l'acide fluorhydrique. »

A la table des matières, on rayera les indications 3[b] (2°), 67, 119, 156 à 159 dans les colonnes 2, 3 et 4, et on ajoutera le numéro de l'article 118 dans la colonne 3 *bis.*

II. — GRAISSES FRAÎCHES.

Les mots *graisses fraîches* disparaîtront du paragraphe F de l'article 3, l'article 133 sera rétabli dans son texte primitif et le paragraphe 4 de l'article 170 sera annulé.

Digitized by Google

Au mot *graisses* dans le premier alinéa du paragraphe F de l'article 3, on mettra un indice de renvoi à une note qui sera insérée au bas de la page et ainsi conçue :

« Le règlement ne s'applique pas aux graisses fraîches provenant d'animaux de boucherie et ne présentant, au moment de leur remise au chemin de fer, ni trace de décomposition, ni aucune mauvaise odeur. »

A la table des matières, en regard des mots *graisses fraîches* on ne laissera subsister que l'indication 3[f], dans la colonne 2 *bis;* toutes les autres mentions inscrites, soit dans la même colonne, soit dans les colonnes 2 *bis* et 4 *bis*, seront biffées.

D'autre part, il m'a paru qu'il y avait lieu de faire disparaître du règlement le neuvième alinéa de l'article 25, ainsi libellé :

« Par exception, la marque officielle des récipients destinés à l'exportation dans les pays qui ont adhéré à la Convention de Berne, du 14 octobre 1890, doit donner le poids du récipient vide, accessoires compris. Pour ces récipients, la marque devra indiquer également, le cas échéant, que la tare comprend le poids de la chape. »

Aucune autre exception n'étant inscrite dans le règlement par application des prescriptions de la Convention de Berne, cet alinéa pourrait donner à croire qu'il n'existe pas d'autre différence entre les deux documents, ce qui est inexact. Il est, d'ailleurs, superflu de consigner cette exception dans le règlement, car il est évident que ce dernier ne saurait faire échec aux dispositions de la Convention, qui a été approuvée par une loi.

Je vous prie de m'accuser réception de la présente circulaire et de rectifier, d'après les dispositions qu'elle contient, les exemplaires du règlement déposés dans les stations de votre réseau.

Le Ministre des travaux publics,

Pour le Ministre et par autorisation,

Le Conseiller d'État, Directeur des chemins de fer,
D. PÉROUSE.

Digitized by Google

N° 292.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

POUDRES A FEU.

Application du tarif d'exportation aux poudres expédiées de France en Tunisie sous forme de cartouches.

(Circulaire n° 363, du 9 septembre 1899.)

Une décision du Ministre des finances, en date du 18 août 1899, vient d'accorder le bénéfice du tarif d'exportation métropolitain aux poudres de fabrication française destinées à être expédiées en Tunisie sous forme de cartouches.

Je rappelle, à cette occasion, qu'un arrêté ministériel du 31 octobre 1896, notifié par la circulaire n° 184 du 23 novembre de la même année, a déjà décidé d'appliquer le tarif d'exportation aux explosifs de mine à base de nitrate d'ammoniaque ou de soude (type N) expédiés de France en Tunisie.

Les prix spécifiés par le décret du 14 janvier 1899 sont, en conséquence, applicables aux expéditions de ces produits effectuées à destination de la Régence.

Le Conseiller d'État, Directeur général,
A. DELATOUR.

N° 293.

MODIFICATION A L'INSTRUCTION D pour l'application de la loi du 9 avril 1898 sur les accidents du travail.

Paris, le 15 novembre 1899.

Monsieur le Directeur, M. le Ministre du commerce et de l'industrie m'ayant demandé que, conformément à l'article 11 de la loi du 9 avril 1898, les inspecteurs du travail fussent informés des accidents qui se produisent dans les établissements militaires, cet avis ne devant avoir exclusivement qu'un but de *centralisation statistique,* sans permettre à ces fonctionnaires d'intervenir dans les enquêtes consécutives à ces accidents, j'ai décidé, à la date du 9 novembre courant, que le deuxième alinéa de l'article 6 de l'in-

Digitized by Google

struction provisoire D du 25 mai 1899 serait modifié ainsi qu'il suit :

« A cet effet, le chef d'établissement adressera immédiatement une déclaration au maire, avec une copie certifiée conforme du certificat d'origine; mais il lui rappellera que la surveillance des établissements militaires de toute nature, incombant exclusivement au Ministre de la guerre en vertu de la loi du 8-10 juillet 1791 et du décret du 24 décembre 1811, *l'avis à transmettre aux inspecteurs du travail ne saurait avoir qu'un but de centralisation statistique.* »

Pour le Ministre et par son ordre :

L'Inspecteur général, Directeur,

LAMBERT.

N° 294.

DÉCRET

fixant les prix de vente des poudres à feu livrées à l'exportation.

(Inséré au *Journal officiel* du 19 janvier 1900.)

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897;

Vu les traités des 20 novembre 1815 et 24 mars 1860, qui ont placé le pays de Gex et la partie neutralisée de la Haute-Savoie en dehors de la ligne de douanes;

Sur les rapports des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Les prix des poudres à feu destinées à l'exportation (1) sont fixés ainsi qu'il suit, pour toute commande dont la valeur atteint au moins 100fr :

---

(1) L'exportation s'entend des envois à l'étranger ou dans les colonies et possessions françaises, l'Algérie et la Tunisie exceptées. Toutefois, les prix d'exportation sont applicables aux explosifs de mine au nitrate d'ammoniaque ou de soude du type N ainsi qu'aux poudres de fabrication française livrées sous forme de cartouches expédiées à destination de la Tunisie.

Digitized by Google

ESPÈCES DE POUDRES.				PRIX par 100kg.	OBSERVATIONS.
				fr. c.	
Poudres de commerce extérieur			ordinaire..	54,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu.
			forte.....	58,50	
Poudres de mine noires	ordinaires.....		ronde.....	67,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu, à l'état de cartouches comprimées ou à celui de mèches de sûreté.
			anguleuse.	81,00	
			fin grain..	103,00	
	fortes.....		ronde.....	72,00	
			anguleuse.	86,00	
			fin grain..	108,00	
	lentes.....		grenée....	62,00	
			non grenée	60,00	
			fin grain..	79,00	
Explosifs de mine	au nitrate d'ammoniaque ou de soude	type N....	n° 1.....	117,00	Non compris l'encaissage. Destinés à être exportés à l'état de cartouches comprimées.
			n° 2.....	56,00	
		type C...	n° 1.....	148,00	
			n° 1 *bis*...	168,00	
			n° 2.....	70,00	
		type P....	n° 1.....	325,00	
			n° 2.....	285,00	
Acide picrique.....				250,00	Non compris l'emballage.
Poudres de chasse	noires..	ordinaires.	barils.....	150,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées en boîtes, à l'état nu (en barils), ou à l'état de cartouches.
			gros. boîtes	195,00	
			pet. boîtes.	245,00	
		fortes.....	barils.....	170,00	
			gros. boîtes	215,00	
			pet. boîtes.	265,00	
		spéciales..	barils.....	190,00	
			gros. boîtes	235,00	
			pet. boîtes.	285,00	
	pyroxylées (types S. J. M. R.).		gros. boîtes	900,00	Non compris l'encaissage. Destinées à être exportées en boîtes ou à l'état de cartouches.
			pet. boîtes.	950,00	
Poudres de guerre	noires	ancien type (1).....		100,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu, à l'état de cartouches ou de pièces d'artifices.
		nouveau type (2)	fusil.....	155,00	
			canon	130,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu ou de munitions confectionnées.
	brunes prismatiques (2).....			220,00	
	BN ou BM (3) dites *sans fumée*.			750,00	

(1) Cette désignation s'applique aux anciens types dits *à canon* et *à mousquet*.
(2) L'exportation de ces poudres pourra être suspendue par un arrêté du Ministre de la guerre.
(3) Les poudres de guerre dites BN et BM sont des poudres à grande puissance balistique, destinées aux fusils de petit calibre et aux canons de tous calibres. L'exportation pourra en être suspendue par un arrêté ministériel.

Digitized by Google

ESPÈCES DE POUDRES.			PRIX par 100kg.	OBSERVATIONS.
			fr c	
Coton-poudre	comprimé (1)	pour torpilles	460,00	Non compris l'encaissage.
		grandes formes	420,00	
		petites formes	640,00	
	en pâte (1)	n° 1	350,00	
	coton azotique.	n° 1 pour dynamite	450,00	
		n° 2 pour dynamite	300,00	
		n° 3 pour usage autre que celui de la dynamite.	700,00	
		n° 4 pour usage autre que celui de la dynamite.	430,00	
	cordeaux détonants souples (le mètre courant)		1,25	

(1) L'exportation du coton-poudre de guerre pourra être suspendue par un arrêté du Ministre de la guerre.

ART. 2. — Les types de poudre de guerre dont l'exportation est autorisée sont les suivants :

I. Anciens types : poudres de guerre dites *à canon* et *à mousquet*.

II. Nouveaux types : poudres à canon : 1° noires, C_1, C_2, SP_1, SP_2, A 26/34, A 30/40, R prismatiques; 2° brunes prismatiques PB_1, PB_2, PB_3, poudres à fusil F_1, F_2, F_3.

III. Poudres BN ou BM à canon et à fusil.

IV. Coton-poudre de guerre en charge comprimée ou en pâte.

ART. 3. — Les prix d'exportation fixés pour les poudres de mine, de guerre, de chasse et pour le coton-poudre sont applicables aux explosifs de même espèce vendus par la régie dans le pays de Gex et dans la zone neutralisée de la Haute-Savoie.

ART. 4. — Les prix de vente portés au présent décret seront applicables à partir du 1er février 1900.

ART. 5. — Les Ministres des finances et de la guerre sont

Digitized by Google

chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 24 décembre 1899.

ÉMILE LOUBET.

Par le Président de la République :

Le Ministre de la guerre, GALLIFFET.

Le Ministre des finances, J. CAILLAUX.

N° 293.

DÉCRET

fixant les prix des poudres à feu livrées aux gouvernements des colonies et des pays de protectorat.

(Inséré au *Journal officiel* du 19 janvier 1900.)

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897;
Sur le rapport des Ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Les prix des poudres à feu que la régie des contributions indirectes livrera, sous le régime de l'exportation, aux gouvernements des colonies françaises et des pays de protectorat sont fixés ainsi qu'il suit :

ESPÈCES DE POUDRES.			PRIX de vente aux gouvernements des colonies et pays de protectorat par 100kg.
			fr c
Poudre de commerce extérieur		ordinaire	53,50
		forte	58,00
Poudres de mine noires	ordinaires	ronde	65,00
		anguleuse	79,00
		fin grain	100,00
	fortes	ronde	70,00
		anguleuse	84,00
		fin grain	105,00
	lentes	grenée	60,00
		non grenée	58,00
		fin grain	77,00

Digitized by Google

ESPÈCES DE POUDRES.				PRIX de vente aux gouvernements des colonies et pays de protectorat, par 100kg.
				fr c
Explosifs de mine au nitrate d'ammoniaque ou de soude	type N	n° 1		114,00
		n° 2		54,00
	type C	n° 1		145,00
		n° 1 *bis*		165,00
		n° 2		68,00
	type P	n° 1		315,00
		n° 2		275,00
Acide picrique				240,09
Poudres de chasse	noires	ordinaires	barils	145,00
			grosses boîtes	190,00
			petites boîtes	240,00
		fortes	barils	165,00
			grosses boîtes	210,00
			petites boîtes	260,00
		spéciales	barils	185,00
			grosses boîtes	230,00
			petites boîtes	280,00
	pyroxylées (types S. J. M. R.)		grosses boîtes	850,00
			petites boîtes	900,00
Poudres de guerre	noires	ancien type		95,00
		nouveau type	fusil	150,00
			canon	125,00
	brunes prismatiques			210,00
	BN et BM dites *sans fumée*			700,00
Coton-poudre	comprimé		pour torpilles	445,00
			grandes formes	405,00
			petites formes	620,00
	en pâte, n° 1			340,00
	azotique	n° 1	pour dynamite	445,00
		n° 2		295,00
		n° 3	pour usage autre que celui de la dynamite	680,00
		n° 4		420,00
	cordeaux détonants souples (le mètre courant)			1,20

ART. 2. — Les prix de vente portés au présent décret seront applicables à partir du 1er février 1900.

ART. 3. — Les Ministres des finances et de la guerre sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent

Digitized by Google

décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 24 décembre 1899.

ÉMILE LOUBET.

Par le Président de la République :

Le Ministre de la guerre,
GALLIFFET.

Le Ministre des finances,
J. CAILLAUX.

ANNEXE AUX DOCUMENTS Nos 294 ET 295.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

FIXATION, POUR 1900, DES PRIX DE VENTE des poudres d'exportation et des poudres à livrer aux gouvernements des colonies et pays de protectorat.

(Circulaire n° 380, du 22 janvier 1900.)

En exécution des dispositions de l'article 13 de la loi de finances du 29 mars 1897, deux décrets, en date du 24 décembre dernier, ont fixé, d'une part, les prix de vente des poudres destinées à l'exportation générale et, d'autre part, les prix de vente des poudres que la régie est autorisée à livrer aux gouvernements des colonies et pays de protectorat.

Ces prix sont applicables à partir du 1er février prochain.

Pour les indications générales relatives à l'exportation des poudres à feu, le service continuera à se reporter aux instructions contenues dans la circulaire n° 432, du 6 juin 1886, et aux conditions rappelées dans la notice insérée à la suite de la circulaire n° 219, du 22 juillet 1897.

Les prix fixés pour l'exportation générale continuent d'être applicables aux poudres à feu livrées à l'intérieur pour des essais et pour l'épreuve des armes.

Les prix spéciaux admis en faveur des gouvernements des colonies et pays de protectorat seront, comme par le passé, appliqués selon l'espèce aux cessions de poudres *neuves* faites aux communes. Les poudres *de démolition* livrées à la même destination seront toujours décomptées au prix de 0fr,75 par kilogramme, conformément aux dispositions de la circulaire n° 188, du 2 décembre 1896.

Le Conseiller d'État, Directeur général,
A. DELATOUR.

Digitized by Google

N° 296.

LOI DU 29 DÉCEMBRE 1899

portant revision générale des prix de vente des poudres de chasse.

(Insérée au *Journal officiel* du 30 décembre 1899.)

LE SÉNAT ET LA CHAMBRE DES DÉPUTÉS ont adopté,

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE promulgue la loi dont la teneur suit :

ARTICLE PREMIER. — Les prix de vente, par l'administration des contributions indirectes, des différentes espèces de poudres de chasse qui seront mises à la disposition des consommateurs, sont fixés ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION DES ESPÈCES DE POUDRES DE CHASSE.		PRIX DE VENTE aux consommateurs.	
		Grosses boîtes (500gr, 1kg et 2kg).	Petites boîtes (100gr et 200gr).
		fr c	fr c
Poudres noires.....	ordinaire (fine).....	12,00	12,50
	forte (superfine).....	15,00	15,50
	spéciale (extrafine).....	19,00	19,50
Poudres pyroxylées..	Type S.....	28,00	28,50
	Type J.....	28,00	28,50
	Type R.....	29,00	29,50
	Type M.....	30,00	30,50
	Type T.....	32,00	32,50

ART. 2. — Pour tous nouveaux types de poudres de chasse qui pourraient être mis en vente dans l'avenir, les prix seront fixés par des décrets rendus sur la proposition du Ministre des finances et du Ministre de la guerre, sans pouvoir dépasser 25fr pour les poudres noires et 50fr pour les poudres pyroxylées.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'État.

Fait à Paris, le 29 décembre 1899.

ÉMILE LOUBET.

Par le Président de la République :

Le Ministre des finances, J. CAILLAUX.

Le Ministre de la guerre, GALLIFFET.

Digitized by Google

ANNEXE AU DOCUMENT N° 296.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

LOI DU 29 DÉCEMBRE 1899.

Mise en vente d'une nouvelle poudre pyroxylée (type T). Revision générale des prix de vente des poudres de chasse.

(Circulaire n° 379, du 20 janvier 1900.)

Depuis 1883, date de la mise en vente de la poudre de chasse au bois pyroxylé de fabrication française, le département de la guerre n'a cessé de poursuivre l'amélioration de cette poudre. C'est d'abord la composition même du produit qui, en 1890, a été modifiée, puis successivement, en 1892, 1894, 1897, de nouveaux types ont été mis à la disposition des consommateurs. Enfin des expériences récentes ont amené la création d'une nouvelle variété, dite *poudre T,* présentant, par rapport à celle actuellement en vente, des avantages assez sérieux.

Mise en vente de la poudre T.

Les entreposeurs peuvent dès à présent demander cette nouvelle poudre à la poudrerie de Sevran-Livry seule chargée de la livraison.

Les boîtes du type T sont de couleur blanche, comme celles des poudres S, M et R, avec étiquettes violettes; il n'y aura pas plusieurs numéros, le même type pouvant être employé dans les calibres 12, 16 et 20.

Revision des tarifs.

Jusqu'à l'apparition de la poudre T, le prix de vente des poudres pyroxylées avait paru pouvoir être uniformément maintenu à 28^{fr} le kilogramme, conformément aux dispositions de la loi du 6 août 1883. Mais, quand il s'est agi de déterminer le tarif à appliquer à cette nouvelle variété, on a été conduit à se demander si les anciens errements devaient continuer à être appliqués, et si une revision de la loi du 6 août 1883 ne devenait pas nécessaire. Les poudres pyroxylées que produisent les poudreries nationales diffèrent, en effet, tant au point de vue de leur qualité que des difficultés de leur fabrication. Il a paru, dès lors, rationnel de renoncer à l'unité de tarif et de fixer un prix spécial pour chaque espèce, de manière à proportionner le bénéfice du monopole au prix de revient de la poudre et à sa puissance balistique.

C'est dans cet esprit qu'une loi du 29 décembre 1899 a, par son article I^{er},

Digitized by Google

établi les nouveaux tarifs de vente des différentes espèces de poudres pyroxylées; le prix fixé pour chaque type réalise une proportionnalité aussi exacte que possible entre les poudres pyroxylées et les poudres de chasse ordinaires, la part représentative de l'impôt étant, par charge, à peu près égale à celle supportée par la poudre noire de consommation courante.

La même loi modifie légèrement le tarif de la poudre noire ordinaire (12fr au lieu de 11fr,85) et celui de la poudre spéciale (19fr au lieu de 19fr,35).

Enfin, elle augmente de 0fr,50 par kilogramme le tarif applicable aux livraisons effectuées en boîtes de 100gr et de 200gr. Cette majoration est destinée à tenir compte du supplément de dépense occasionné par la mise en boîtes en ce qui concerne les récipients de petit calibre. Ce n'est là, d'ailleurs, que la généralisation d'un principe déjà appliqué en matière de tabacs, ainsi qu'aux ventes de poudres à feu pour l'exportation.

Nouveaux tarifs de vente.

En conséquence, les prix de vente des poudres de chasse aux débitants et aux consommateurs sont modifiés ainsi qu'il suit :

ESPÈCES DE POUDRES.		ANCIENS PRIX de vente.		NOUVEAUX PRIX DE VENTE.			
				Grosses boîtes (500gr, 1kg et 2kg).		Petites boîtes (100gr et 200gr).	
		Débitants.	Consommateurs.	Débitants.	Consommateurs.	Débitants.	Consommateurs.
		fr c	fr c	fr c	fr c	fr c	fr c
Poudres noires.	ordinaire (fine) ..	11,25	11,85	11,40	12,00	11,90	12,50
	forte (superfine)..	14,40	15,00	14,40	15,00	14,90	15,50
	spéciale (extrafine)	18,75	19,35	18,40	19,00	18,90	19,50
Poudres pyroxylées.	Type S.....	26,80	28,00	26,80	28,00	27,30	28,50
	Type J.....			26,80	28,00	27,30	28,50
	Type R.....			27,80	29,00	28,30	29,50
	Type M.....			28,80	30,00	29,30	30,50
	Type T.....			30,80	32,00	31,30	32,50

Remises aux débitants.

Les remises aux débitants continuent à rester fixées à 0fr,60 par kilogramme pour les poudres noires et à 1fr,20 pour les poudres pyroxylées. Les bonifications accordées jusqu'ici sur les ventes de boîtes de poudres dont les prix comportaient des fractions de 0fr,05 disparaissent par suite de l'exacte divisibilité des nouveaux prix.

Digitized by Google

Mesures transitoires.

En ce qui concerne : 1° les inventaires à établir dans les entrepôts et les débits de poudre; 2° les restitutions de droits à effectuer; 3° les suppléments de prix à percevoir, et 4° les écritures que comportait l'application des nouveaux tarifs, les directeurs ont dû, conformément aux prescriptions de ma dépêche télégraphique du 30 décembre dernier, donner les ordres nécessaires en s'inspirant des instructions transmises dans des circonstances analogues et, notamment, de celles contenues dans les circulaires n° 391, du 24 juin 1890, et n° 94, du 15 juin 1894, rappelées dans ladite dépêche.

Fixation des prix de vente.

Jusqu'à présent, le monopole était tenu de recourir à l'intervention législative pour faire fixer les tarifs de vente des nouveaux types de poudres de chasse, chaque fois que ces tarifs différaient de ceux en vigueur.

Désormais, en vertu de l'article 2 de la loi du 29 décembre 1899, les prix des nouvelles variétés de poudres de chasse qui pourraient être mises en vente dans l'avenir, seront fixés par des décrets rendus sur la proposition des Ministres de la guerre et des finances, dans les limites d'un maximum de 25^{fr} par kilogramme pour les poudres noires et de 50^{fr} pour les poudres pyroxylées.

Le Conseiller d'État, Directeur général,

A. DELATOUR.

FIN DE LA DEUXIÈME PARTIE DU TOME X.

Digitized by Google

TABLE ANALYTIQUE.

PREMIÈRE PARTIE.

DOCUMENTS TECHNIQUES.

Pages.

Établissement des dynamitières souterraines. — Petits dépôts souterrains. — RAPPORT N° 127, DU 8 DÉCEMBRE 1898 (COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES) 7

Compte rendu des travaux de la Commission des substances explosives pendant l'année 1898 17

Vitesses et pressions développées à diverses charges par les poudres de chasse pyroxylées dans les armes de chasse (COMMISSION CENTRALE DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES) 31

Rapport sur la suppression du binaire salpêtre dans la fabrication des poudres de chasse (COMMISSION CENTRALE DES POUDRES ET SALPÊTRES).. 39

Accidents survenus par suite d'explosion tardive de cartouches de grisounite (COMMISSION DU GRISOU)..... 43

Expériences relatives à la détonation des grisounites Favier (COMMISSION DU GRISOU)..... 49

Note sur la destruction par la foudre de trois ateliers de la poudrerie de Clermont-sur-Meuse (Belgique), par M. F. GUCHEZ, inspecteur général des explosifs en Belgique..... 59

Corrélation entre la composition des acides employés à la nitrification de la cellulose et les propriétés des cotons-poudres produits, par M. le colonel KISNIEMSKY, de l'artillerie russe..... 64

Résistance et mode de construction des bouches à feu. Déformation des canons dans le voisinage de l'obturateur, par MM. GOSSOT, lieutenant-colonel d'artillerie de la marine, et LIOUVILLE, ingénieur des poudres et salpêtres..... 80

Sur la loi des pressions dans les bouches à feu, par M. E. VALLIER, chef d'escadron d'artillerie..... 171

Étude sur le rôle des discontinuités dans les phénomènes de propaga-

Digitized by Google

Pages.

tion, par M. VIEILLE, ingénieur en chef des poudres et salpêtres..... 177

Sur un nouveau mode de chargement des poudres de chasse, par M. BARRAL, ingénieur des poudres et salpêtres..... 261

Note sur une explosion de chlorate de potasse en Angleterre (Extrait du Rapport de M. A. FORD, inspecteur en chef des explosifs en Angleterre)..... 271

Sur l'explosion du chlorate de potasse, par M. BERTHELOT, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences..... 281

Compte rendu des travaux de la Commission des substances explosives pendant l'année 1899..... 284

DEUXIÈME PARTIE.

DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

France.

N° 251. — POUDRES A FEU. — EXPORTATION. — DÉLIVRANCE A L'INDUSTRIE PRIVÉE DES POUDRES RÉGLEMENTAIRES DE LA MARINE FRANÇAISE..... *3

N° 252. — APPLICATION DU DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1897. — OPTION ENTRE L'ALIÉNATION ET LA RÉSERVE DU CAPITAL..... *4

N° 253. — EXPLOSION SURVENUE, LE 25 OCTOBRE 1897, A LA POUDRERIE NATIONALE DE SAINT-CHAMAS..... *5

N° 254. — APPLICATION DU DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1897. — DROIT DES VEUVES A L'OBTENTION DE LA RENTE TEMPORAIRE OU DU COMPLÉMENT DE RENTE VIAGÈRE..... *12

N° 255. — SURVEILLANCE TECHNIQUE DES FABRIQUES D'ARTIFICES, DE CARTOUCHES COMPRIMÉES ET DE MÈCHES DE SURETÉ..... *12

N° 256. — LOI DU 9 JUIN 1853. — DISPOSITIONS NOUVELLES CONCERNANT LE SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES..... *13

N° 257. — APPLICATION DU DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1897..... *14

N° 258. — TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES OU INFECTES. — PREMIÈRE MODIFICATION AU RÈGLEMENT DU 12 NOVEMBRE 1897..... *14

N° 259 — SURVEILLANCE TECHNIQUE DES FABRIQUES DE CARTOUCHES COM-

Digitized by Google

Pages.

primées et de mèches de sureté *15

N° 260. — Instruction sur le service dans les usines a meules..... *16

N° 261. — Dispositions nouvelles concernant les ouvriers ayant 60 ans d'age et licenciés après 15 ans de service..... *20

N° 262. — Surveillance technique des fabriques d'artifices..... *22

N° 263. — Barillages de poudres de commerce extérieur *22

N° 264. — Décret du 1er juin 1898 fixant les prix de vente des poudres a feu livrées a l'exportation *23

N° 265. — Décret du 1er juin 1898 fixant les prix des poudres a feu livrées aux gouvernements des colonies et des pays de protectorat..... *25

N° 266. — Interprétation de l'article 21 du décret du 26 février 1897. *29

N° 267. — Mise en vente d'un type de poudre de mine fin grain lente.. *30

N° 268. — Instruction du 16 juillet 1898, concernant la surveillance des expéditions d'explosifs, munitions et matières assimilées..... *31

N° 269. — Surveillance technique des dépôts de dynamite *36

N° 270. — Transport des matières dangereuses ou infectes. — Deuxième modification au règlement du 12 novembre 1897..... *37

N° 271. — Application de l'article 2 du décret du 26 février 1897..... *42

N° 272. — Surveillance technique des fabriques d'artifices..... *42

N° 273. — Application de l'article 3 du décret du 26 février 1897 aux ouvriers agés de plus de 65 ans..... *43

N° 274. — Calibre des barillets a livrer aux entreposeurs des contributions indirectes..... *44

N° 275. — Décret du 18 novembre 1898 portant modification du décret du 26 février 1897 sur la situation du personnel civil d'exploitation des établissements militaires *45

N° 276. — Instruction du 18 novembre 1898 pour l'application du décret du 18 novembre 1898 sur la situation du personnel civil d'exploitation des établissements militaires..... *46

N° 277. — Décret du 6 janvier 1899 fixant le prix de vente de l'acide picrique destiné a l'exportation *47

N° 278. — Décret du 14 janvier 1899 fixant les prix de vente des poudres a feu livrées a l'exportation *49

N° 279. — Décret du 14 janvier 1899 fixant les prix des poudres a feu livrées aux gouvernements des colonies et des pays de protectorat..... *51

Digitized by Google

Pages.

N° 280. — DÉCRET DU 14 JANVIER 1899 FIXANT LES PRIX DE VENTE DES EXPLOSIFS DE MINE..... *54

N° 281. — DÉCRET DU 14 JANVIER 1899 FIXANT A 1fr,50 PAR KILOGRAMME L'IMPOT SUR LA DYNAMITE..... *55

N° 282. — LIVRAISONS DES POUDRES DE MINE AUX ARTIFICIERS..... *58

N° 283. — DÉCRET DU 13 FÉVRIER 1899 RELATIF A LA NOMINATION DES OUVRIERS COMMISSIONNÉS DANS LES ÉTABLISSEMENTS MILITAIRES. *59

N° 284. — TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES OU INFECTES.—TROISIÈME MODIFICATION AU RÈGLEMENT DU 12 NOVEMBRE 1897..... *60

N° 285. — DÉCRET DU 12 MARS 1899 FIXANT LE PRIX DE VENTE, A L'INTÉRIEUR, DE L'EXPLOSIF DE MINE DU TYPE C, N° 1bis..... *62

N° 286. — DÉCRET DU 12 MARS 1899 FIXANT LE PRIX DE VENTE, A L'EXPORTATION, DE L'EXPLOSIF DE MINE DU TYPE C, N° 1bis..... *63

N° 287. — LOI DU 9 AVRIL 1898 CONCERNANT LES RESPONSABILITÉS DES ACCIDENTS DONT LES OUVRIERS SONT VICTIMES DANS LEUR TRAVAIL.. *65

N° 288. — INSTRUCTION PROVISOIRE D POUR L'APPLICATION, DANS LES ÉTABLISSEMENTS MILITAIRES, DE LA LOI DU 9 AVRIL 1898..... *77

N° 289. — PRÉCAUTIONS A PRENDRE POUR L'INSTALLATION DES CONDUCTEURS D'ÉLECTRICITÉ DANS LE VOISINAGE OU A L'INTÉRIEUR DES MAGASINS A POUDRES..... *94

N° 290. — DÉCRET DU 31 MAI 1899 FIXANT LES PRIX DE VENTE DU COTON AZOTIQUE..... *97

N° 291. — TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES OU INFECTES. — QUATRIÈME MODIFICATION AU RÈGLEMENT DU 12 NOVEMBRE 1897.... *97

N° 292. — APPLICATION DU TARIF D'EXPORTATION AUX POUDRES EXPÉDIÉES DE FRANCE EN TUNISIE SOUS FORME DE CARTOUCHES..... *100

N° 293. — MODIFICATION A L'INSTRUCTION D POUR L'APPLICATION DE LA LOI SUR LES ACCIDENTS DU TRAVAIL..... *100

N° 294. — DÉCRET DU 24 DÉCEMBRE 1899 FIXANT LES PRIX DE VENTE DES POUDRES A FEU LIVRÉES A L'EXPORTATION..... *101

N° 295. — DÉCRET DU 24 DÉCEMBRE 1899 FIXANT LES PRIX DES POUDRES A FEU LIVRÉES AUX GOUVERNEMENTS DES COLONIES ET DES PAYS DE PROTECTORAT..... *104

N° 296. — LOI DU 29 DÉCEMBRE 1899 PORTANT REVISION GÉNÉRALE DES PRIX DE VENTE DES POUDRES DE CHASSE..... *107

Digitized by Google

TABLE ALPHABÉTIQUE.

(On a marqué en **caractères gras** les noms d'auteurs, en PETITES CAPITALES les titres des articles et documents, en *italiques* toutes les autres indications.)

Accidents par suite d'explosions tardives, 43, 49. A. du travail, *65, *77, *100.
Acide carbonique liquéfié : transport, *38.
Acide picrique : prix de vente à l'exportation, *47.
Acide sulfureux anhydre liquéfié : transport, *39, *61.
Amorces pour jouets d'enfants, 287, 293.
Amorces électriques : transport, *37, *41.
Armes de chasse : vitesses et pressions dans les A. de chasse, 31.
Artificiers, *12, *15, *22, *42, *58.
Ateliers à poudre détruits par la foudre, 59, 62.
Azote dans les cotons-poudres, 66, 67, 68, 69, 73, 75, 78.

Barillages de poudres de commerce extérieur, *22.
Barillets de 5^kg pour le pulvérin et la poudre de guerre, *44.
Barral : RAPPORT sur la suppression du binaire salpêtre dans la fabrication des poudres de chasse, 39. NOUVEAU MODE DE CHARGEMENT DES POUDRES DE CHASSE, 261.
Berthelot : SUR L'EXPLOSION DU CHLORATE DE POTASSE, 280.
Biju-Duval : RAPPORT sur le classement des explosifs de mine type P et des cotons-poudres en pâte et comprimés, 17. RAPPORT sur une question relative au transport par chemin de fer de munitions de guerre chargées, 20. RAPPORT sur une demande de fabrication de nouveaux types de dynamite, 22. RAPPORT sur la dynamite-gomme BS, fabriquée à Saint-Martin-de-Crau, 24. RAPPORT sur un nouveau numéro d'explosif de mine du type C, 25. RAPPORT sur une demande de fabrication d'un nouveau type de dynamite-gomme AA, 26.
Billardon : Expériences sur les explosions retardées, 50.
Binaire salpêtre : Suppression du B.s. dans la fabrication des poudres de chasse, 39.
Blanzy (*Compagnie des mines de*) : Expériences sur les petits dépôts souterrains de dynamite, 7.
Bouches à feu : Résistance et mode de construction, 80. LOI DES PRESSIONS DANS LES BOUCHES A FEU, 171.

Digitized by Google

Caisse des retraites : Décret du 26 février 1897 : aliénation ou réserve du capital, *4.
Canons : Déformations dans le voisinage de l'obturateur, 80.
Caractéristique des mélanges acides, 65.
Cartouches chargées pour canons : Transport, *37.
Cartouches comprimées, *12, *15.
Cartouches de chasse : Nouveau chargement, 261.
Celluloïd : Transport, 286, *40.
Cellulose : Corrélation entre les résultats de la nitrification de la C. et les mélangés acides, 64.
Certificat pour le transport des explosifs. *15.
Chargement : Nouveau mode de C. des cartouches de chasse, 261.
Châtelet (poudrerie de) : Destruction d'ateliers par la foudre, 62.
Chlorate de potasse : Explosion à l'usine de Saint-Helens, 271. NOTE SUR L'EXPLOSION DU CHLORATE DE POTASSE, 280.
Chlorure d'acétyle : Transport, *60.
CIRCULAIRE DU 26 MAI 1899 sur les précautions à prendre dans l'installation des conducteurs d'électricité près des magasins à poudres, *94.
Clermont-sur-Meuse (poudrerie de) : Destruction d'ateliers par la foudre, 59.
Coefficient de fatigue des bouches à feu, 174.

Commission centrale du service des poudres et salpêtres : VITESSES ET PRESSIONS DÉVELOPPÉES PAR LES POUDRES PYROXYLÉES DANS LES ARMES DE CHASSE, 31. RAPPORT SUR LA SUPPRESSION DU BINAIRE SALPÊTRE DANS LA FABRICATION DES POUDRES DE CHASSE, 39. Surdosage des poudres livrées aux artificiers, *15. INSTRUCTION sur le service dans les usines à meules, *16.

Commission des substances explosives : EXPÉRIENCES SUR LES DYNAMITIÈRES SOUTERRAINES, 7. Compte rendu des travaux de la C. pendant l'année 1898, 17, pendant l'année 1899, 284. Personnel de la C. en 1898,29; en 1899. 249, Inflammation des grisounites, 51.

Commission du grisou : ACCIDENTS SURVENUS PAR SUITE D'EXPLOSION TARDIVE DE CARTOUCHES DE GRISOUNITE, 43. EXPÉRIENCES RELATIVES A LA DÉTONATION DES GRISOUNITES FAVIER, 49.
Conducteurs d'électricité dans le voisinage des magasins à poudres, *94.
Cotons-poudres : Classement des C.-p. en pâte et comprimés pour le transport sur voies ferrées, 17. Corrélation entre la composition des acides et les propriétés des C.-p., 64. Taux d'azote et solubilité, 66, 67, 68, 69, 73, 75, 78.

Décomposition fusante des grisounites, 50.
Décret du 26 février 1897 (application du), *4, *12, *14, *29, *42, *43, *45.
DÉCRET DU 1er JUIN 1898 fixant les prix de vente des poudres livrées à l'exportation, *23.
DÉCRET DU 1er JUIN 1898 fixant les prix des poudres livrées aux gouvernements des colonies et pays de protectorat, *25.
DÉCRET DU 18 NOVEMBRE 1898 portant modification du décret du 26 février 1897, *45, *46.
DÉCRET DU 6 JANVIER 1899 fixant le prix de vente de l'acide picrique destiné à l'exportation, *47.
DÉCRET DU 14 JANVIER 1899 fixant les prix de vente des poudres destinées à l'exportation, *49.

Digitized by Google

DÉCRET DU 14 JANVIER 1899 fixant les prix des poudres livrées aux gouvernements des colonies et pays de protectorat, *51.
DÉCRET DU 14 JANVIER 1899 fixant les prix de vente des explosifs de mine, *54.
DÉCRET DU 14 JANVIER 1899 fixant l'impôt sur la dynamite, *55.
DÉCRET DU 13 FÉVRIER 1899 relatif à la nomination des ouvriers commissionnés, *59.
DÉCRET DU 12 MARS 1899 fixant le prix de vente à l'intérieur de l'explosif de mine type C n° 1 *bis*, *62.
DÉCRET DU 12 MARS 1899 fixant le prix de vente à l'exportation de l'explosif de mine type C n° 1 *bis*, *63.
DÉCRET DU 31 MAI 1899 fixant les prix de vente du coton azotique, *97.
DÉCRET DU 24 DÉCEMBRE 1899 fixant les prix de vente des poudres livrées à l'exportation, *101.
DÉCRET DU 24 DÉCEMBRE 1899 fixant les prix des poudres livrées aux gouvernements des colonies et pays de protectorat, *104.
Déformation des canons dans le voisinage de l'obturateur, 80.
Dépôts de dynamite, 7. Surveillance technique, *36.
Détonation des grisounites, 49.
Discontinuités : Rôle des D. dans les phénomènes de propagation, 177. Naissance des D., 182. Production spontanée des D., 194. Production artificielle, 202. D. symétrique créée par une amorce, 206, 221, 225. D. dissymétrique par rupture de diaphragme, 232. Propagation d'une D. dissymétrique dans l'air, 237. Applications de la théorie des D., 253.

Dupré (D^r^) : Expériences sur l'explosion du chlorate de potasse, 277.
Dynamite : Demande de fabrication de nouveaux types, 22, 289, 291. D. gélatinées, 22. D. à l'ammoniaque, 22. D. pour l'exportation, 22. D. gomme BS, 24. Surveillance technique des dépôts de D., *36. Impôt sur la D., 55. Petits dépôts souterrains de D., 7.

Élasticité adiabatique dynamique, 182.
Électricité : Conducteurs d'É. dans le voisinage des magasins à poudres, *94.
Emplois du service actif, *13.
Escortes, *31.
Esquerdes (poudrerie d') : Expériences sur les explosions retardées, 50.
Explosifs : Expéditions, *31. Certificat pour le transport, *15.
Explosifs de sûreté : Transport, *14, *40.
Explosifs de mine : Classement des explosifs de mine du type P, 17. E. de mine du type C, 25. Prix de vente *54. Prix de vente de l'E. de mine type C n° 1 *bis*, *62, *63.
Explosifs Street, 294.
Explosion de meules à Saint-Chamas, *5. E. de chlorate de potasse à Saint-Helens, 271. SUR L'EXPLOSION DU CHLORATE DE POTASSE, 280.
Explosions retardées, 43, 49, 56.
Exportation de poudres, *3. Dynamite pour l'E., 22. Prix des poudres livrées à l'E., *23, *49, *63, *101. Prix de l'acide picrique destiné à l'E., *47.

Favier : Expériences sur la détonation des grisounites F., 49.

Ford (A.) : Explosion de chlorate de potasse à l'usine de Saint-Helens, 271.
Foudre : Destruction d'ateliers à poudre par la F., 59, 62.
Frais d'escorte et de garde pour le transport des explosifs, *34.

Digitized by Google

Garde des explosifs dans les gares, *31.
Gélatine dynamite, 22.
Gomme : Dynamite G. BS., 24. Dynamite G.,AA, 26. G. de sûreté, 291.

Gossot et **Liouville** : Résistance et mode de construction des bouches a feu, 80.

Gravier : Corrélation entre la composition des acides et les propriétés des cotons-poudres (*traduit du russe*), 64.
Grisounite : Explosions tardives de G., 43. Expériences sur les G. Favier, 49.

Guchez : Note sur la destruction par la foudre de trois ateliers de la poudrerie de Clermont-sur-Meuse, 59.

Impôt sur la dynamite, *55.
Instruction du 14 mai 1898 sur le service dans les usines à meules, *16.
Instruction du 16 juillet 1898 concernant la surveillance des expéditions d'explosifs, munitions et matières assimilées, *31.
Instruction du 18 novembre 1898 : Application du décret du 18 novembre 1898, *46.
Instruction provisoire D du 25 mai 1899 pour l'application de la loi sur les accidents du travail, *77. Modification à l'I., *100.

Kisniemsky : Corrélation entre la composition des acides et les propriétés des cotons-poudres, 64.

Le Chatelier : Rapport sur les expériences faites à Blanzy sur les petits dépôts souterrains de dynamite, 7.

Lheure : Rapport sur l'examen de cinq nouveaux types d'explosifs, 284. Rapport sur le classement comme munitions de sûreté des amorces-papier pour jouets, 287. Rapport sur une demande d'autorisation de fabrication d'un nouveau type de dynamite, 289.
Licenciement des ouvriers, *20, *42, *46.

Liouville: Rapport sur les vitesses et pressions développées par les poudres pyroxylées dans les armes de chasse, 31. Résistance et mode de construction des bouches a feu (v. **Gossot** et **Liouville**). Chargement des cartouches de chasse, 264. Rapport sur les dangers du transport du celluloïd à bord des paquebots-poste, 286.
Loi de finances de l'exercice 1898 : Modification au tableau des emplois du service actif de la loi du 9 juin 1853, *13.
Loi du 9 avril 1898 concernant les responsabilités des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail, *65. Application aux établissements militaires, *77.
Loi du 29 décembre 1899 portant revision générale des prix de vente des poudres de chasse, *107.

Magasins à poudres : Précautions à prendre pour le passage des courants électriques dans le voisinage des M. à poudres, *94.
Matières dangereuses ou infectes : Transport, *14, *31, *37, *60, *97.
Mèches de sûreté, *12, *15.
Mélanges acides pour la nitrification de la cellulose, 64. Caractéristique des M. acides, 65.
Meules : Instruction pour la conduite des M., *16.
Munitions de guerre : Transport par chemins de fer, 20.
Munitions de sûreté : Transport, *60. Amorces classées comme M. de sûreté, 289, 293.

Digitized by Google

Nitrification de la cellulose, 64.

Obturateur : Déformation des canons dans le voisinage de l'O., 80.
Ouvriers : Versements à la caisse des retraites pour la vieillesse, *4, *43, *46. Licenciement, *20, *42, *46. Pensions, *45. Secours viagers, *20, *45, *46. Secours, *45, *46. Retenues sur les salaires, *29. Retraite, *14. Veuves, *12, *46, *93. Orphelins, *46, *93. Nomination des O. commissionnés, *59. Accidents du travail, *65, *77, *100.

Patart : Expériences sur les explosions retardées, 50.
Personnel secondaire d'exploitation à poste fixe, *13.
Pince pour le chargement des cartouches de chasse, 264.
Poudres : Délivrance à l'industrie privée des P. réglementaires de la marine française, *3.
Poudres de chasse : NOUVEAU MODE DE CHARGEMENT DES POUDRES DE CHASSE, 261. VITESSES ET PRESSIONS DÉVELOPPÉES DANS LES ARMES DE CHASSE, 31. RAPPORT sur la suppression du binaire salpêtre dans la fabrication des P., 39. Loi portant revision générale des prix de vente des P , *107.
Poudres de commerce extérieur : Emballage, *22.
Poudres de guerre en barillets de 5^kg, *44.
Poudres de mine livrées aux artificiers, *15, *58.
Poudre de mine fin grain lente : Mise en vente, *30.
Pressions : VITESSES ET PRESSIONS DÉVELOPPÉES DANS LES ARMES DE CHASSE, 31. LOI DES PRESSIONS DANS LES BOUCHES A FEU, 171.
Prix de vente de l'acide picrique à l'exportation, *47. P. des poudres livrées à l'exportation, *23, *49, *101. P. des poudres livrées aux gouvernements des colonies et pays de protectorat, *25, *51, *104. P. des explosifs de mine, *54. P. de l'explosif de mine type C n° 1 *bis*, *62, *63. P. des poudres de la marine livrées à l'industrie privée, *4. P. des poudres expédiées en Tunisie sous forme de cartouches, *100. Loi portant revision générale des P. des poudres de chasse, *107. P. du coton azotique, *97.
Projectiles : Résistance de l'air au mouvement des P., 253.
Prométhée, 294.
Propagation des ondes : Rôle des discontinuités dans les phénomènes de P., 177. Théorie de la P., 179. P. dans un milieu en repos, 180. P. des condensations les unes dans les autres, 181. Vitesses de P. des condensations intenses dans les tubes cylindriques, 186. P. des phénomènes explosifs, 257.
Pulvérin en barillets de 5^kg, *44.

Rack a rock, 294.
Raté de détonation, 53.
RÈGLEMENT DU 12 NOVEMBRE 1897 sur le transport des matières dangereuses ou infectes. 1re modification, *14. Instruction pour l'application du R., *31. 2e modification au R., *37. 3e modification au R., *60. 4e modification au R., *97.
Réquisition des escortes et gardes militaires pour le transport des explosifs, *34.
Résistance de l'air au mouvement des projectiles, 253.
Résistance des bouches à feu, 80.
Retenues des salaires par mesure disciplinaire, *29.

Sacs pour les poudres de commerce extérieur, *22.
Saint-Chamas (*poudrerie de*) : Explosion du 25 octobre 1897 (usine à meules), *5.

Digitized by Google

Saint-Helens (*usine de*) : Explosion du 12 mai 1899 (chlorate de potasse), 271.

Sarrau : Rapport sur des accidents survenus par suite d'explosions tardives, 43. Rapport sur des expériences relatives à la détonation des grisounites Favier, 49. Rapport sur l'explosion de l'usine à meules n° 19 de la poudrerie de Saint-Chamas, *5.

Schmerber : Explosions tardives, 56.

Schneider et C^ie : Demande de transport de munitions de guerre chargées, 20.

Secours aux ouvriers, *20, *45, *46.

Service actif : Emplois du S. actif dans les poudres et salpêtres, *13.

Sesquisulfure de phosphore : Transport, *41.

Société anonyme d'explosifs et produits chimiques : Demande de fabrication de dynamite-gomme BS, 24.

Société française des explosifs : Demande de fabrication de nouveaux types de dynamite, 22.

Société française des poudres de sûreté : Grisounites, 50.

Société générale pour la fabrication de la dynamite : Demande de fabrication de dynamite-gomme AA, 26.

Solubilité des cotons-poudres, 66, 67, 68, 69, 73, 75, 78.

Streef (*explosifs*), 294.

Surdosage des poudres livrées aux artificiers, *15.

Surveillance technique des fabriques d'artifices et mèches de sûreté, *12, *15, *22, *42. S. des dépôts de dynamite, *36.

Transport des explosifs de mine du type P, 17. T. des cotons-poudres en pâte et comprimés, 17. T. des munitions de guerre, 20. T. des explosifs, *31. T. des matières dangereuses ou infectes, *14, *31, *37, *60, *97. T. du celluloïd, 286, *40. Certificat pour le T. des explosifs, *15.

Tunisie : Tarif des poudres expédiées en T., *100.

Usines à meules : Instruction sur le service, *16.

Vallier : Loi des pressions dans les bouches a feu, 171.

Vieille : Sur le rôle des discontinuités dans les phénomènes de propagation, 177.

Vitesses de propagation des condensations intenses dans les tubes cylindriques, 186. V. d'une discontinuité dans l'air à la pression normale, 206. Influence de la résistance de l'enveloppe et de la masse de l'explosif sur la V. dans l'air, 221. Influence de la densité et de la pression du milieu sur la V., 225. V. d'une discontinuité dissymétrique dans l'air, 237.

Vitesses et pressions dans les armes de chasse, 31.

ERRATA.

Page 165, ligne 5 en remontant, *au lieu de* : une rupture transversale, *lire* : une rupture longitudinale, c'est-à-dire par défaut de résistance transversale.

Page 205, ligne 6, *au lieu de* : Chapitre III, *lire* : Chapitre II.

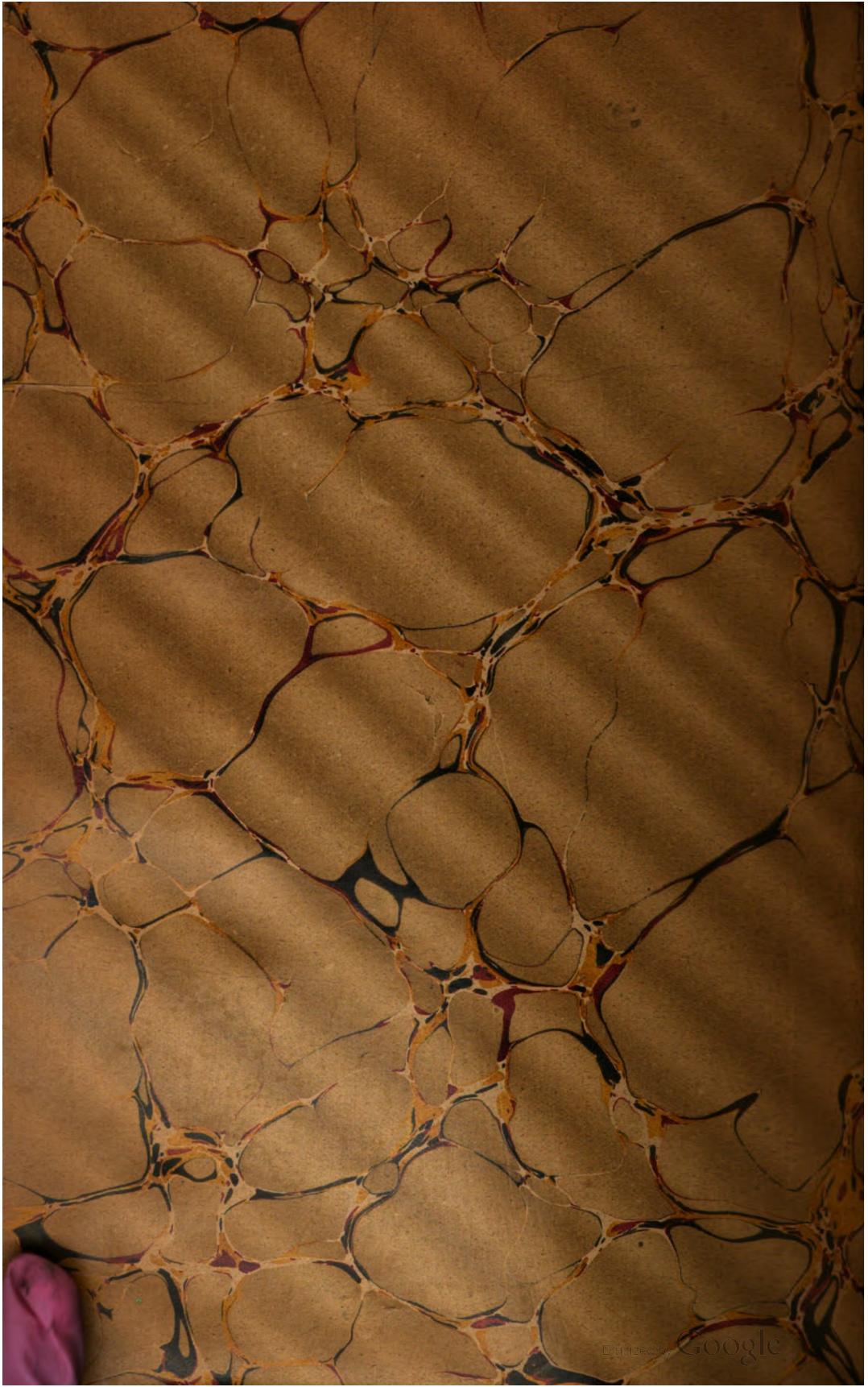
27004 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

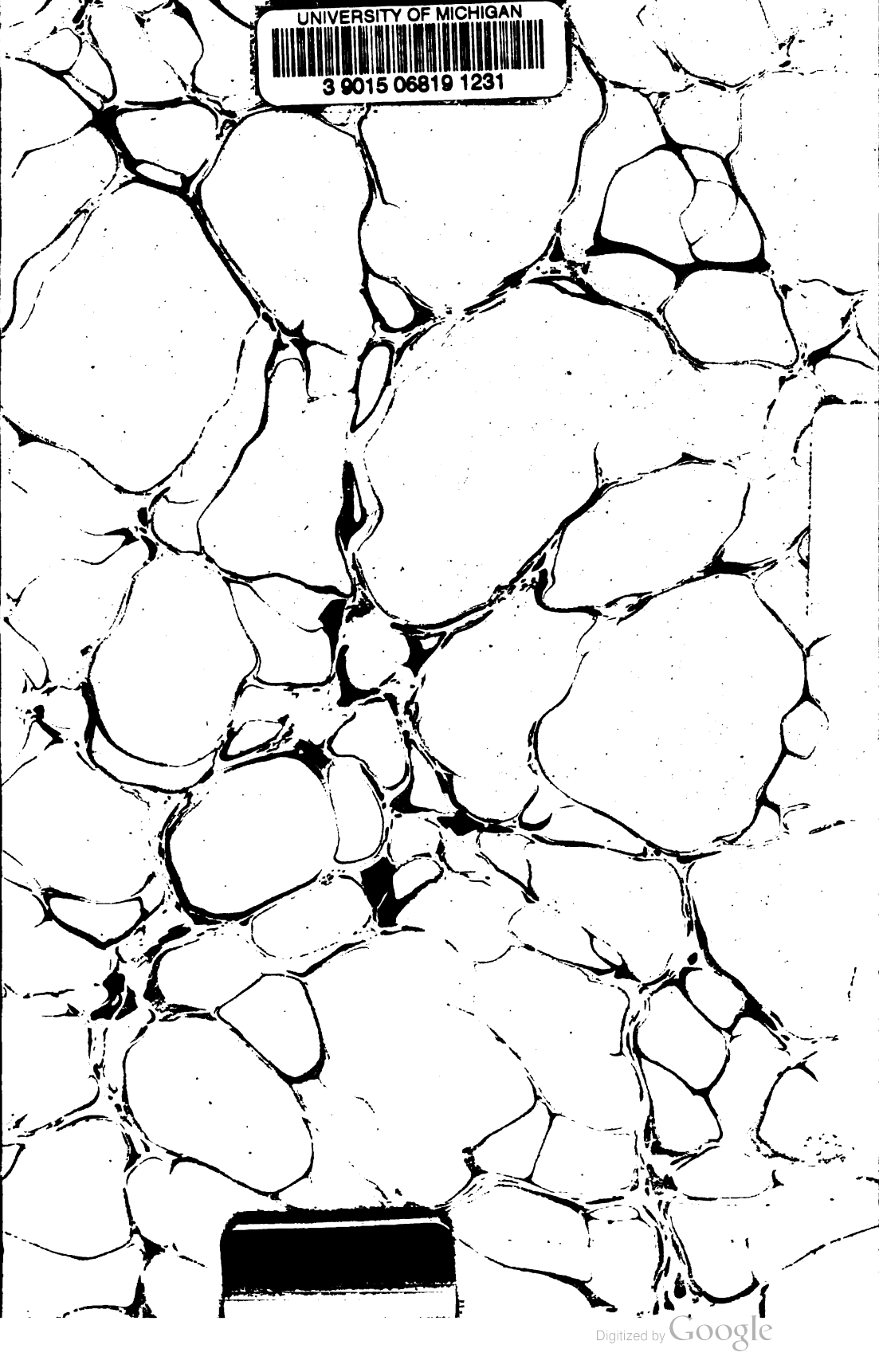
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06819 1231
Digitized by Google